

République
du Bénin

Burkina Faso

République
du Niger

Fonds Européen de Développement

Programme Régional Parc W / ECOPAS
(Ecosystèmes Protégés en Afrique Soudano-Sahélienne)
7 ACP RPR 742



Rapport de mission de recherche n° 2006/57

**Propositions pour le montage d'un dispositif expérimental
destiné à valider les itinéraires techniques non péjorants
susceptibles de constituer la base d'une zone tampon à
vocation de "production biologique" aux périphéries du Parc W**

Patrick Prudent

Avril 2008

RAPPORT DEFINITIF n° 2006/57



AGRICONSULTING



Deutsche Gesellschaft für
Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH

Programme Régional Parc W / ECOPAS

7 ACP RPR 742

Rapport de mission de recherche n° 2006/57

**Propositions pour le montage d'un dispositif expérimental
destiné à valider les itinéraires techniques non péjorants
susceptibles de constituer la base d'une zone tampon à
vocation de "production biologique" aux périphéries du Parc W**

18-23 juin 2007

**Patrick Prudent
CIRAD**

Avril 2008

Adresse	Consultant
<p>Bureau de Coordination du Programme Régional Parc – W (ECOPAS) 01 BP 1607 Imm. PPI BF face BIB avenue du Temple Ouagadougou 01 Burkina Faso Tél./Fax: (+226) 335261 E-mail: consortium.ecopas@fasonet.bf</p>	<p>Consortium ECOPAS: Agrer S.A., Agriconsulting S.p.A., CIRAD, GFA Terra Systems GmbH, Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH, s/c GFA Terra Systems GmbH Eulenkrugstr. 82 D – 22359 Hamburg</p>

TABLE DES MATIÈRES

Liste des annexes.....	iv
Liste des tableaux.....	v
Sigles et abréviations utilisés.....	vii
1. Introduction.....	1
2. Compléments d'informations par rapport au diagnostic de la mission de 2005.....	3
2.1. Les informations collectées durant la mission.....	3
2.1.1. Les attentes pour le Parc	3
2.1.2. La production de coton biologique au Burkina Faso	4
2.1.2.1. Entretien avec les responsables de l'ONG Helvetas à Ouagadougou	4
2.1.2.2. Entretien à l'UNPCB de Diapaga	7
2.1.3. Informations sur les pratique phytosanitaires pour d'autres cultures dans la région de Diapaga et disponibilités pour l'encadrement (DAHRH)	8
2.1.4. La vision et les activités de la SOCOMA (entretiens de Diapaga et Fada)	9
2.1.4.1. Le coton biologique et/ou équitable	9
2.1.4.2. Les traitements de semences	10
2.1.4.3. Les traitements foliaires	10
2.1.4.4. La lutte sur seuil	11
2.1.4.5. Les herbicides	12
2.1.4.6. Le programme "Biodiversité"	13
2.1.4.7. L'ampleur du problème de l'encadrement	13
2.1.5. Entretiens avec les intervenants du projet ECOPAS sur le terrain et leurs partenaires	14
2.1.5.1. Entretien avec le Président de l'URCPE	14
2.1.5.2. Entretien avec le responsable de la périphérie du Parc au Burkina Faso	14
2.1.5.3. Entretien avec un encadreur de la périphérie du Parc au Bénin	16
2.1.6. Deux lois importantes pour la protection du Parc	17
2.1.7. Entretiens avec l'INERA	18
2.1.8. L'impact sur la santé humaine	18
2.1.9. La contamination des ressources aquatiques au Burkina Faso	19
2.1.9.1. Les modifications de la microflore dans les points d'eau (IRD)	19

2.1.9.2.	La contamination des réservoirs d'eau par le maraîchage	20
2.1.9.2.1.	L'étude de Some K. (2007) sur les réservoirs de Loumbila et Mogtédô	20
2.1.9.2.2.	L'étude du projet IMPECA sur le réservoir de Toukountouré	21
2.1.9.2.3.	Bilan des pratiques phytosanitaires signalées dans ces deux études	22
2.2.	Les informations complémentaires collectées au Bénin	23
2.2.1.	Compléments d'informations sur les contaminations en culture maraîchères.	23
2.2.1.2.	La contamination des sites maraîchers au Bénin.	23
2.2.1.2.1.	Le site de Houéyiho à Cotonou (Sanny, 2002).	23
2.2.1.2.2.	Contaminations des cultures de <i>Solanum macrocarpum</i> dans le sud du Bénin (Assogba-Komlan et al., 2007).	24
2.2.1.2.3.	Observations réalisées en milieu maraîcher dans le cadre du projet lagune.	25
2.2.1.3.	Les pesticides utilisés en production maraîchère au Togo (PAN Togo, 2005).	27
2.2.1.4.	Les pratiques phytosanitaires en cultures maraîchères en Afrique de l'Ouest (Rosendahl et al. 2008).	27
2.2.1.5.	L'EIQ et l'IPEST en cultures de tomates en Europe (Bues & al., 2004).	29
2.2.2.	La contamination de la rivière Ouémé par les organochlorés (Pazou et al., 2006a et 2006b).	30
2.2.2.1.	La contamination des sédiments (Pazou et al., 2006b).	30
2.2.2.2.	La contamination des poissons (Pazou et al., 2006a).	34
2.2.3.	La qualité des sols et les paramètres influençant celle-ci et son évolution, revue bibliographique.	34
2.2.3.1.	La qualité biologique des sols (Chaussod, 1996).	34
2.2.3.1.1.	La notion de qualité des sols.	34
2.2.3.1.2.	Les bioindicateurs, leurs qualités et leur pertinence.	37
2.2.3.1.3.	Revue de divers bioindicateurs.	38
2.2.3.1.4.	Les facteurs intervenant sur la qualité des sols.	40
2.2.3.1.5.	L'évolution actuelle de la fertilité biologique des sols.	41
2.2.3.1.6.	Conséquences sur la conduite à tenir	42
2.2.3.2.	La décomposition de la matière organique de la litière issue du feuillage de plantes tropicales et les facteurs exogènes influençant celle-ci (Sall et al., 2003).	43
2.2.3.3.	Comment améliorer la biodiversité des sols en traitant celui-ci comme un habitat (Clapperton, 2003).	46
3.	Les éléments pouvant permettre une réduction de l'impact de la culture cotonnière sur l'environnement et comment en mesurer les effets.	52

3.1. Propositions de domaines d'intervention pouvant permettre de réduire l'impact environnemental de la culture cotonnière.	52
3.1.1. Possibilités de réduire l'EIQ des pratiques phytosanitaires en culture cotonnière de façon globale.	52
3.1.1.1. Les programmes de traitements contre les ravageurs.	52
3.1.1.1.1. La production de coton biologique	54
3.1.1.1.2. La lutte étagée ciblée (LEC)	59
3.1.1.1.3. La lutte sur seuil au Mali (TS) et la LOIC au Cameroun	63
3.1.1.2. Les alternatives à l'endosulfan	67
3.1.2. Possibilités de réduire les transferts depuis les champs vers l'environnement	69
3.1.2.1. La dérive aérienne lors des traitements.	70
3.1.2.2. Les transferts post-application	71
3.1.2.3. Propositions de méthodes visant à réduire ces transferts	72
3.1.2.3.1. L'emploi d'adjuvants	72
3.1.2.3.2. L'emploi de haies et/ou zones tampons	72
3.1.2.3.3. Les semis sous couverture végétale SCV et autres pratiques améliorantes du sol	73
3.1.2.3.4. Un renforcement de la formation des producteurs aux bonnes pratiques lors des traitements.	74
3.1.2.3.5. Les traitements de semences.....	75
3.2. Revue rapide des mesures d'impact à mettre en oeuvre pour évaluer les domaines d'intervention envisagés.....	76
3.2.1. Populations ou groupes taxonomiques pouvant être retenus comme indicateurs.	76
3.2.2. Quelques méthodes de piégeage ou de prélèvement applicables à ces indicateurs.	76
Bibliographie.....	78

LISTES DES ANNEXES

ANNEXE 01 : Programme de la mission.....	91
ANNEXE 02 : Termes de référence de la mission.....	93
ANNEXE 03 : Zonage du Parc Régional W - Réseau hydrographique (ECOPAS, 2005).....	98
ANNEXE 04 : Grandes unités du relief et hydrographie du Bénin (Le Barbé, 1993).....	99
ANNEXE 05 : Liste des matières actives recherchées dans les retenues d'eau par l'IRD (étude 2005 : Cecchi Ph., communication personnelle).....	100
ANNEXE 06 : EIQ des diverses matières actives citées dans ce rapport.....	101
ANNEXE 07 : Insecticides rencontrés dans les périmètres maraîchers et rizicoles de Mogtébo et Lumbila (Some, 2007).....	103
ANNEXE 08 : Insecticides utilisés dans les périmètres maraîchers en périphérie du réservoir de Toukountouré (Hyrkäs & Pernholm, 2007).....	104
ANNEXE 09 : Résidus d'insecticides décelés dans le périmètre maraîcher de Houéyiho (Sanny, 2002).....	105
ANNEXE 10 : Produits phytosanitaires utilisés en cultures de <i>Solanum macrocarpum</i> dans le sud Bénin (Assogba-Komlan et al., 2007).....	106
ANNEXE 11 : Résidus d'insecticides décelés en cultures de <i>Solanum macrocarpum</i> (morelle) dans le sud du Bénin (Assogba-Komlan et al., 2007).....	107
ANNEXE 12 : Principaux pesticides chimiques utilisés en maraîchage au Togo (adapté de PAN Togo, 2005).....	108
ANNEXE 13 : Traces d'insecticides organochlorés dans les aliments vivriers au Togo (PAN Togo, 2005).....	109
ANNEXE 14 : Produits phytosanitaires utilisés en cultures maraîchères en Afrique de l'Ouest (extrait de Rosendahl et al., 2008).....	110
ANNEXE 15 : Nombre de traitements réalisés en cultures maraîchères durant un cycle de production au Bénin (Rosendahl et al., 2008).....	112
ANNEXE 16 : DT ₅₀ de quelques pesticides dans les acrisols et arénosols du Bénin et sur feuilles de <i>Solanum macrocarpum</i> (Rosendahl et al., 2008).....	113
ANNEXE 17 : Carte de sites des études portant sur la contamination de la rivière Ouémé (Pazo et al., 2006 a & b).....	114
ANNEXE 18 : Concentration en organochlorés dans les sédiments de la rivière Ouémé (Pazo et al., 2006b).....	115
ANNEXE 19 : Concentration en organochlorés dans les poissons de la rivière Ouémé (Pazo et al., 2006a).....	116
ANNEXE 20 : Plaque d'identification des chenilles carphophages utilisée pour la LOIC.....	117
ANNEXE 21 : Lutte sur Observation Individuelle des Chenilles de la capsule (LOIC).....	118
ANNEXE 22 : Mécanismes mis en jeux lors des épandages par pulvérisation. Les flèches indiquent les interactions avec les différents compartiment (source : Aubertot et al., 2005).....	123

LISTES DES TABLEAUX

Tableau 01	: Les traitements de semences utilisés commercialement ou en cours d'essai au Burkina Faso et dose correspondante de matières actives par hectare.....	10
Tableau 02	: Programme de traitement calendaire de la campagne 2006-2007 SOCOMA.....	11
Tableau 03	: Programme de traitement calendaire de la campagne 2007-2008 SOCOMA.....	11
Tableau 04	: Quantités moyennes de matières actives épandues par an et par hectare pour chaque spécialité commerciale utilisée sur <i>Solanum macrocarpum</i> (Assogba-Komlan, 2007) et EIQ correspondants.....	25
Tableau 05	: Pourcentage d'échantillons contaminés et sites présentant les plus fortes concentrations de pesticides, et comparaison aux valeurs de référence suivantes MPC, ISQG et PEL.....	32
Tableau 06	: MPCs de quelques organochlorés extraits du rapport N° 711701020 du RIVM (Verbruggen et al., 2001).....	32
Tableau 07	: Principaux organismes macroscopiques du sol.....	36
Tableau 08	: Principaux organismes microscopiques du sol.....	36
Tableau 09	: Sensibilité relative de quelques indicateurs biologiques utilisables pour évaluer les effets secondaires de fongicides (d'après Domsch, 1985).....	37
Tableau 10	: Niveau de dépendance de quelques plantes d'intérêt agricole vis-à-vis des WAMfs.....	48
Tableau 11	: Nombre de traitements phytosanitaires réalisés par les producteurs de coton au Bénin, enquête du Projet Parcob, année 2003, Composante I (Fadoegnon et al., 2004).....	53
Tableau 12	: Nombre de producteurs de coton biologique au Burkina Faso, surfaces cultivées et rendement en kilogramme de coton-graine par hectare pour les campagnes 2004-2005 à 2006-2007, par zone de culture (Helvetas Burkina Faso, 2005, 2006 et 2007).....	55
Tableau 13	: Données sur la production du coton biologique au Bénin (Matthess et al., 2005).....	58
Tableau 14	: Rentabilité de cinq systèmes culturaux cotonniers au Bénin, (Matthess et al., 2005).....	58
Tableau 15	: Productivité en coton-graine des parcelles LEC et des parcelles témoins, suivies dans le cadre du projet PADSE.....	61
Tableau 16	: Effets de l'adoption de la LEC sur les marges brutes et la rémunération du travail consacré au coton (Floquet et Mongbo, 2003).....	62
Tableau 17	: Correspondance entre les numéros d'ordre des traitements de la LPD et les intervalles de dates durant lesquels ils peuvent être appliqués (Cameroun).....	64
Tableau 18	: Types de traitements, matières actives et dosages correspondants (campagne 2007-2008, Cameroun).....	64
Tableau 19	: Types de traitements à appliquer par fenêtre calendaire selon les zones de culture (campagne 2007-2008).....	65
Tableau 20	: Résultats de l'expérimentation LOIC 2006-2007 au Cameroun : effectifs des producteurs par zone et par méthode de protection, nombre moyen de traitements réalisés et productivité en coton graine.....	66
Tableau 21	: EIQ des deux premiers traitements avec quelques matières actives alternatives à l'endosulfan en tenant compte de leur dosage.....	68

Tableau 22 : Rendement en coton-graines dans l'essai comparatif (novaluron 75 g/ha + acétamipride 8 g/ha versus endosulfan 700 g/ha), campagne 2006-2007, projet CMIA.....	69
--	----

SIGLES ET ABBRÉVIATIONS UTILISÉS

ADELE	: Programme d'Appui au Développement Local de l'Est du Burkina (DDC et Etat Burkinabè)
AFD	: Agence Française de Développement
AFNOR	: Agence Française de Normalisation
ATC	: Agent Technique Coton (Burkina Faso)
BIO ou "bio"	: biologique = se référant à l'agriculture biologique ou aux producteurs qui la pratiquent.
CEMAGREF	: Institut de recherche pour l'ingénierie de l'agriculture et de l'environnement (France)
CGIAR	: Consultative Group on Agricultural Research
CMDT	: Compagnie Malienne de Développement Textile.
CMIA	: Cotton Made in Africa (projet de la coopération allemande au Bénin)
CVGF	: Comité Villageois de Gestion de la Faune (Périphérie ECOPAS Burkina Faso)
DAHRH	: Direction Provinciale de l'Agriculture, de l'Hydraulique et des Ressources Halieutiques
DANIDA	: Danish International Development Agency (Agence Internationale Danoise pour le Développement)
DDC	: Direction du Développement et de la Coopération (Coopération Suisse)
DDTs	: regroupement de l'insecticide DDT et de tous ses isomères ou produits de dégradation DDD, DDE,.....
DGCN	: Direction Générale de la Conservation de la Nature (Burkina Faso)
DL 50	: Dose létale 50 = dose en mg de MA /Kg (ou µg/g.) de poids vif tuant 50 % de la population soumise à cette dose par la voie indiquée (orale, dermale,....)
DNCPEF	: Direction Nationale des Cadres Paramilitaires des Eaux et Forêts (Burkina Faso)
DT ₅₀	: Durée de demi-vie, ou temps nécessaire à la disparition de 50 % d'une matière active après son application dans un milieu, en particulier dans le sol ou sur une plante.
ECOPAS	: Ecosystèmes Protégés en Afrique Soudano Sahélienne
EIQ	: Environmental Impact Quotient
ESA	: Projet Eau-Sol-Arbre financés sur les fonds PPTE de l'AFD
FASOCOTON	: Société cotonnière - Opérateur cotonnier de la zone Centre du Burkina Faso appartenant au groupe financier suisse Reinhart
F CFA	: Francs de la Communauté Financière d'Afrique
FED	: Fonds Européen de Développement (Union Européenne)
FICOD	: Fonds de Soutien aux Initiatives Concertées en Coopération Décentralisées (mis en place par l'organisation Citées Unies France)
FIDA	: Fonds International pour le Développement de l'Agriculture
FLO	: Fair Trade Labelling Organisation (organisme de certification des produits équitables localisé en Allemagne).
GPC	: Groupement de producteurs de coton (Burkina Faso)
GPCbio	: Groupement de producteurs de coton biologique (Burkina Faso)

ha ou HA	: hectare
ICCO	: Interchurch Organisation for Development Cooperation (ONG Hollandaise)
IITA	: International Institute of Tropical Agriculture
IMPECA	: Projet “Impact du Maraîchage et des Pesticides sur l’Ecologie et les Communautés aquatiques (financement DANIDA)
INERA	: Institut de l’Environnement et des Recherches Agricoles (Burkina Faso)
INRA	: Institut National de Recherche Agronomique
ISQG	: Canadian Interim Sediment Quality Guidelines (valeur critique de référence pour les teneurs en substances toxiques dans les sédiments au Canada)
IPEP	: Projet International pour l’Elimination des POPs
IPEST	: Environmental impact of pesticides
IRD	: Institut de Recherche pour le Développement
JAL	: Nombre de jours après la levée (forme d’expression de la date d’exécution d’une pratique culturale dans un itinéraire technique)
LEC	: Lutte étagée ciblée.
LOIC	: Lutte sur Observation Individuelle des chenilles de la capsule (méthode de lutte raisonnée récemment développée au Cameroun)
LMR	: Limite maximale de résidus (normes AFNOR)
LPD	: Lutte Pré-Déterminée (non de la protection phytosanitaire classique au Cameroun)
MA ou m.a.	: Matière active (produits phytosanitaires)
MECV	: Ministère de l’Environnement et du Cadre de Vie
M.E.S.	: Matières en suspension (en particulier en référence aux eaux de ruissellement)
MPC	: Maximum Permissible Concentration ou concentration maximale tolérée (valeur critique de référence pour les teneurs en substances toxiques dans les sols et sédiments aux Pays Bas)
OBEPAB	: Organisation Béninoise pour la Promotion de l’Agriculture Biologique
PADSE	: Projet d’Amélioration et de Diversification des Systèmes d’Exploitation (Alibori-Borgou-Collines-Zou) (Financement AFD)
PAFR	: Programme d’Appui à la Filière Riz (FED et Etat Burkinabè)
PAN	: Pesticide Action Network
PARCOB	: Projet d’Appui à la Recherche Cotonnière au Bénin (projet de la Coopération Française)
PC	: Produit Commercial (dans le cas des spécialités phytosanitaires)
PEL	: Probable Effect Level (valeur critique de référence pour les teneurs en substances toxiques dans les sédiments au Canada)
PPM (ppm)	: parties par million, forme d’expression d’une concentration (ex. = mg/Kg ou µg/g ou ng/mg,...)
PPTE	: Pays Pauvres Très Endettés
Reinhart SA	: Entreprise suisse de commerce de la fibre de coton au niveau mondial et promotrice du commerce équitable
PICOFA	: Programme d’Investissement Communautaire en Fertilité Agricole (FIDA et Etat Burkinabè)
POPs	: Polluants Organiques Persistants
PSNPADB	: Projet de Stratégie Nationale et Plan d’Action de la Diversité Biologique

QUALITOM	: Projet européen 1997-2000 : Construction and test of technical itineraries to grow field processing tomato of sound quality with limited costs and respect of the environment
RENECOFOR	: REseau National de suivi à long terme des ECOsystèmes FORestiers
SCV	: Semis sous couverture végétale
SDECV	: Service Départemental de l'Environnement et du Cadre de Vie
SNV	: Service Néerlandais de Développement (Volontaires)
SOCOMA	: Société Cotonnière du Gourma
SODECOTON	: Société de Développement du Coton du Cameroun
SOFITEX	: Société des Fibres et Textiles du Burkina
SOM	: Soil Organic Matter, Matière Organique du Sol
SPIPM	: The Systemwide Program on Integrated Pest Management
T	: Toxique dans la classification toxicologique légales des substances et préparations dangereuses (réglementation française).
T+	: Très Toxique dans la classification toxicologique légales des substances et préparations dangereuses (réglementation française).
TBV	: Très Bas Volume (méthode de pulvérisation utilisant 10 litres de bouillie par hectare traité ; ce nom peut aussi s'appliquer au pulvérisateur utilisé à cet effet).
TIN TUA	: (ou TIN-TUA) ONG Burkinabè basée à Fada, active dans le domaine de l'alphabétisation.
TS	: Traitements sur seuil (méthode de lutte n'utilisant que des traitements sur seuil développée au Mali)
UICN	: Union Internationale (ou Mondiale) pour la Conservation de la Nature
UNPC-B	: Union Nationale des Producteurs de Coton du Burkina Faso
UNPCB	: Union Nationale des Producteurs de Coton Biologique
UPC	: Unités de Protection et de Conservation (dépendent de la DNCPEF)
URPCE	: Union Régionale des Producteurs de Coton de l'Est
VAM fungi	: Vesicular-Arbuscular Mycorrhizal fungi ou VAMf
Xi	: Irritant dans la classification toxicologique légales des substances et préparations dangereuses (réglementation française).
Xn	: Nocif dans la classification toxicologique légales des substances et préparations dangereuses (réglementation française).
ZAT	: Zone d'Appui Technique des DAHRH (Burkina Faso)
ZOVIC	: Zone Villageoise d'Intérêt Cynégétique

1. Introduction

La première étude réalisée en 2005 (Guibert & Prudent, 2006) a mis en évidence une situation complexe dont les principaux éléments sont :

- C la préoccupation de la conservation de la biodiversité dans les zones périphériques du Parc Régional du W,
- C la pression des populations sur les zones environnant ce parc avec le développement d'activités agricoles susceptibles d'exercer une action dégradante sur ces zones périphériques,
- C le coton qui est souvent particulièrement incriminé comme étant l'origine principale des problèmes de pollutions, est une culture bien encadrée et ne représente pas la seule source de pollutions, d'autres spéculations faiblement encadrées pouvant utiliser des quantités d'intrants chimiques plus élevées par unité de surface, plus toxiques et pouvant avoir un effet plus néfaste sur l'environnement à cause de leur proximité avec les points d'eau (maraîchage,...)
- C le constat concernant une contamination généralisée de l'environnement par d'anciens insecticides appartenant au groupe chimique des organochlorés, à l'origine de cette première étude, apparaît comme le résultat d'une contamination "historique", liée à l'usage massif de ces produits, durant de nombreuses années et pour de multiples usages (protection des spéculations agricoles toutes cultures confondues, lutte contre les criquets, termites, et surtout divers vecteurs de maladies humaines ou animales [paludisme, trypanosomiasés, onchocercose, ...]...), leur durée de demi-vie particulièrement élevée et leurs possibles mouvements à l'échelle mondiale par des voies aussi diverses que l'évaporation ou sublimation, le transport dans les cours d'eau et leurs sédiments, dans les particules véhiculées par les vents, dans les organismes vivants contaminés et pouvant migrer sur de grandes distances,...
- C la proposition d'actions à conduire suite à cette première étude.

Le premier rapport issu de la seconde étude réalisée en 2006 (Baudron, 2007), complète le constat de la problématique concernant la périphérie du Parc, approfondit le diagnostic agronomique plus particulièrement en ce qui concerne le devenir de la fertilité des sols. Parmi les points saillants, sont à citer :

- C l'expansion de la culture cotonnière reste la principale préoccupation des acteurs visant la protection du Parc et de sa biodiversité, mais ce phénomène ne peut être qualifié de "front pionnier", la plupart des parcelles nouvellement défrichées étant cultivées en céréales,
- C cependant, cette culture procure des ressources aux producteurs, leur permettant d'accéder à la mécanisation de l'agriculture et à la capitalisation dans un cheptel bovin résidant, ce qui, agissant comme un moteur du développement agricole, favorise l'extension des surfaces cultivées donc intensifie les risques de pression sur la périphérie du Parc,
- C le bilan général des exploitations apparaît déficitaire au niveau des nutriments du sol et une dégradation des sols par perte de matière organique apparaît comme une menace beaucoup plus grande pour ces zones, que le risque de pollution par les intrants agro-chimiques,

- C les fonctions biologiques, ou “services de l'écosystème”, susceptibles d'améliorer la conservation de la fertilité des sols (préservation des arbres, production de fourrages,...) ainsi que renforcer la biorémediation des xénobiotiques dans les sols sont largement discutées,
- C la création de zones de productions agricoles entièrement biologiques n'apparaît pas comme une solution souhaitable, car cette forme de production trop rigide n'est viable que pour certains types de petites unités de production,
- C une mise en oeuvre flexible des principes agroécologiques, adaptée aux différents terroirs et types d'exploitations, semble plus adaptée.
- C des matrices expérimentales sont proposées pour comparer différents systèmes agroécologiques aux systèmes plus traditionnels, selon une approche participative devant aboutir à leur adoption par les producteurs basée sur le libre choix de ceux-ci.

Ces deux rapports ont déjà largement fait l'analyse de la problématique menaçant le Parc W. Le présent rapport se propose donc seulement :

- C d'apporter au constat déjà existant les compléments d'information et d'analyse collectés lors de cette seconde mission, mais aussi après l'édition du rapport sur la première étude de 2005, à partir du Bénin,
- C de faire le point sur les méthodes pouvant être expérimentées pour réduire particulièrement l'impact de la protection phytosanitaire de la culture cotonnière sur l'environnement, dans et en dehors des parcelles cultivées, soit :
 - < la réduction des quantités épandues grâce aux méthodes de lutte raisonnée (facteur quantitatif de l'EIQ des programmes de traitement)
 - < la choix de matières actives ayant un impact propre moindre sur l'environnement (facteur qualitatif de l'EIQ)
 - < la limitation des contaminations hors des parcelles traitées (par dérive aérienne lors des applications : formulation, haies, zones tampons,... ; par migration des produits hors parcelle après les traitements : ruissellement, fixation, biorémediation,...)
- C de passer en revue quelques méthodes permettant de vérifier la diminution de l'impact des pratiques phytosanitaires obtenue au moyen des innovations envisagées (paramètres à mesurer et méthodes de mesure)
- C de suggérer quelques protocoles résumés pour évaluer certaines des innovations envisagées précédemment ainsi que d'aborder leurs méthodes de diffusion et les facteurs pouvant limiter celle-ci.

2. Compléments d'informations par rapport au diagnostic de la mission de 2005.

Ce paragraphe fait le bilan des informations collectées lors des entretiens tenus durant cette mission, ainsi que de celles obtenues au Bénin ou depuis ce pays depuis la mission de 2005, afin de compléter les éléments de diagnostics déjà présentés dans les deux rapports mentionnés dans l'introduction. Ce bilan a pour objectif d'améliorer l'analyse de la situation devant conduire aux propositions d'intervention qui seront présentées dans la suite de ce rapport.

2.1. Les informations collectées durant la mission.

2.1.1. Les attentes pour le Parc.

L'attente des responsables de la protection du Parc est d'aboutir à un dispositif graduel entre une zone agricole traditionnelle extérieure au Parc et le Parc lui-même où l'agriculture sous toutes ses formes restera interdite. Il ne s'agit donc pas d'établir une rupture brutale ou "mur" entre le Parc et les zones agricoles, mais d'envisager la création d'une zone tampon intermédiaire, extérieure au Parc, dans sa périphérie, où l'agriculture biologique puisse être pratiquée, mais aussi la petite chasse, l'exploitation du miel, ainsi que des systèmes de production agricole diversifiés plus conformes au respect de l'environnement. C'est dans cette bande limitrophe que des protocoles de recherche pratique seraient à installer, les possibilités envisageables restant très libres : ex. : une bande au contact du Parc pouvant être consacrée plus spécialement aux cultures vivrières alors que le coton resterait possible dans une bande plus externe, sans nécessairement être conduit de façon strictement biologique, mais plus respectueuses de l'environnement.

La rivière Mékrou, qui représente un point d'eau important, la faune se concentrant au long de son parcours, constitue une problématique sensiblement différente de celle des zones périphériques. En effet, elle ne traverse le Parc que sur une partie limitée de son cours. Cette rivière qui mesure 480 Km et dont le bassin atteint 10.500 Km² prend naissance dans les monts de Birni (Le Barbé et al., 1993). Or la forêt classée des monts Birni est justement considérée comme pratiquement disparue, seule restant une partie reboisée en tecks ou anacardiés (PSNPADB, 2002). Les problèmes de contamination des eaux de cette rivière dépassent donc largement les aires du Parc et de ses zones périphériques proches. Il en est certainement de même pour d'autres cours d'eau comme la Pendjari (420 Km au Bénin) ou l'Alibori (427 Km et 13.740 Km² de bassin versant) (Le Barbé et al., 1993). Malheureusement la carte du réseau hydrographique disponible pour le Parc W (ANNEXE 03) ne permet pas de visualiser les cours d'eau hors du Parc. Par contre, il est possible d'avoir une meilleure idée de leur extension hors de celui-ci en la comparant à la carte hydrographique établie par l'ORSTOM (ANNEXE 04, Le Barbé et al., 1993). On perçoit mieux alors l'ampleur de cette problématique qui ne peut être solutionnée à l'échelle du projet ECOPAS, mais seulement en élargissant aux zones riveraines de ces cours d'eau certaines de pratiques qui seront recommandées dans ce rapport ainsi que celles proposées dans le rapport BAUDRON 2007.

2.1.2. La production de coton biologique au Burkina Faso

2.1.2.1. Entretien avec les responsables de l'ONG Helvetas à Ouagadougou

La production de coton biologique a commencé en 2004-2005, la campagne 2006-2007 pouvant être considérée comme seconde d'année de réelle de cette activité appuyée par l'ONG Helvetas. La mise en oeuvre est assurée par l'UNPCB qui est actionnaire des trois sociétés cotonnières existant au Burkina Faso : la SOFITEX (collecte environ 80 % de la production sur les 2/3 du pays), la SOCOMA basée à l'Est et FASOCOTON SA basée à Ouagadougou et opérant surtout dans la zone centre. Les cotonculteurs de cette association sont actionnaires de ces trois sociétés respectivement à hauteur de 30 %, 20 % et 10 %. L'UNPCB pilote le programme de production du coton biologique comme un mode alternatif de culture, limité géographiquement, supervise la certification biologique des champs (visites).

L'ONG Helvetas accompagne l'UNPCB dans ce programme au niveau de l'appui technique, des encadreurs, de la mise au point de nouvelles techniques et une bonne gestion des producteurs. Helvetas intervient surtout dans la zone Nord-Centre et assure la mise en réseau des producteurs avec les grandes sociétés multinationales intéressées par l'achat de coton biologique (Reinhart, Hess Natur, Switcher,...). Il existe actuellement avec celles-ci un partenariat garantissant prioritairement l'achat du coton biologique produit au Burkina par ces sociétés, avant qu'elles n'aillent compléter leurs besoins auprès d'autres pays producteurs (Turquie, Inde,...).

Sur environ 300.000 producteurs de coton en 2007, environ 1.200 adhèrent à la production de coton biologique. L'évolution du nombre de producteur reste volontairement limitée, essentiellement en fonction des moyens d'encadrement dont dispose l'UNPCB pour éviter les échecs. L'accompagnement des producteurs "bio" est en effet plus exigeant que pour la production traditionnelle dont les itinéraires techniques sont déjà relativement bien connus et bien assurés par les encadreurs des sociétés cotonnières. Les méthodes mises en oeuvre sont nouvelles pour les agriculteurs (production du compost, préparation des biopesticides, prise de décisions,...) et de nouveaux producteurs n'ayant jamais pratiqué ces techniques s'ajoutent chaque année.

Le potentiel de commercialisation est estimé selon Helvetas à 50.000 tonnes de fibre, avec un manque par rapport à la demande d'environ 20.000 tonnes. Face à ce marché, la production du Burkina pour la campagne 2006-2007 n'était que de 145 tonnes de fibre.

Helvetas pratique aussi la promotion du coton équitable, activité démarrée depuis 4 ans au Mali, puis développée au Sénégal et au Burkina Faso, de même qu'en Asie Centrale (Tadjikistan, Kirghizistan), et enfin bientôt au Bénin en 2007/2008. La diversité des pays engagés dans ce programme permet d'obtenir une certaine élasticité de la production et ainsi une meilleure satisfaction de la demande des acheteurs partenaires, en les orientant vers un pays ou un autre.

Cette combinaison du coton biologique et de la production équitable permet d'obtenir un prix garanti, fixé par zone, par l'organisme de certification FLO (Fair Trade Labelling Organization). Ce prix est composé de 3 éléments : celui lié à la production = 238 F CFA, la prime biologique = 34 F CFA (=272 F CFA : prix annoncé pour le coton biologique et équitable

dans le rapport Helvetas Burkina Faso, 2007), et enfin 34 F CFA de prime sociale, soit un total de 306 F CFA / Kg de coton-graine, contre 165 F CFA pour le coton traditionnel. Le gain de prix par rapport au coton traditionnel (141 F CFA/ Kg) peut donc être décomposé comme suit : 73 F CFA (51,8 %) pour la production équitable, 34 F CFA (24,1 %) pour la production biologique, 34 F CFA (24,1 %) pour la prime sociale. La prime sociale est remise directement aux groupements de producteurs (GPC, ou dans ce cas GPCbio), pour financer des projets d'ordre social (écoles, cantines, dispensaires,...). Donc plus de la moitié du gain par rapport au coton traditionnel provient du seul label de commerce équitable, la production "biologique" ne représentant que 24,1 % de l'amélioration du prix payé directement au producteur.

L'encadrement de l'UNPCB est majoritairement financé par des ressources externes provenant principalement de bailleurs comme la Coopération Suisse, l'ONG Helvetas, l'ONG Hollandaise ICCO. Une moindre part provient du mécanisme de fixation du prix de vente du coton-graine à la société FASOCOTON SA. Celle-ci a vendu la totalité de la fibre de coton biologique et équitable produite à 1.100 F CFA / Kg à la société Reinhart SA (Helvetas Burkina Faso, 2007), contre un prix de la fibre "classique" se situant environ entre 500 et 600 F CFA/Kg, alors que la société FASOCOTON assure déjà la prise en charge des frais liés aux coûts supplémentaires de transport pour un égrenage séparé et ceux de la certification biologique.

Cependant, une diminution du coût des frais d'encadrement est attendue, du fait que les techniciens, dont les charges sont ainsi actuellement financées, forment des agriculteurs "relais" qui devraient par la suite assurer cet encadrement.

L'ONG Helvetas considère actuellement que les principaux acquis de ce programme sont les suivants :

- ℄ la faisabilité de la production de coton biologique est démontrée
- ℄ la production et commercialisation du coton biologique sont acceptées par les acteurs de la filière
- ℄ l'accès de femmes à la production de coton (40 % des producteurs de coton bio sont des femmes) et donc aux crédits
- ℄ la réduction de l'impact sur l'environnement.
- ℄ l'adoption par les producteurs en particulier comme option moins dangereuse pour la santé, les autres motivations n'ayant jusqu'alors pas été estimées.

Toutes les cultures en rotation ou utilisées comme plantes pièges (gombo [*Hibiscus esculentus*] ou le bissap [ou roselle = *Hibiscus sabdariffa*]) sont labellisées "biologiques" et bénéficient ainsi d'un meilleur prix de vente, même le produit des arbres de karité présents dans les exploitations "bio" :

- ℄ le sésame : 250 F CFA / Kg / 200 pour le classique, soit environ + 30-40%
- ℄ le bissap : 650-700 F CFA/Kg / 350-400, soit environ + 50%
- ℄ le beurre de karité : 1.700 F CFA/Kg / 500, soit environ + 240 %
- ℄ l'amande de karité : 200-250 F CFA/Kg / 80-100, soit environ + 150 %.

Seul le gombo, qui bénéficie déjà d'un excellent marché local, est vendu au même prix que la production classique.

Le coton biologique est produit dans trois zones, deux à l'ouest vers Bobo Dioulasso (Tiéfora et Ioba), une au sud (Pô) et une à l'est (Fada). Les producteurs possèdent des exploitations petites à moyennes et cultivent moins d'un hectare.

Les recherches portant sur les itinéraires techniques de la culture de coton biologique sont confiées à l'INERA : rotation mieux adaptées, gestion de la matière organique, études socio-économiques, lutte contre les ravageurs. Pour ce dernier point il est largement fait recours aux expériences endogènes des producteurs.

La protection phytosanitaire repose essentiellement sur l'utilisation de graines de neem [*Azadirachta indica*]. Quatre kilogrammes de graines de neem sont macérées durant au moins cinq jours dans seize litres d'eau, puis l'ensemble est filtré. Pour traiter un hectare, quatre pulvérisateurs d'une contenance de 16 litres sont utilisés, en y chargeant chaque fois 4 litres du liquide issu de la macération et 12 litres d'eau. Certains producteurs ajoutent 10 cm³ de beurre de karité par pulvérisateur, comme additif destiné à améliorer l'adhésivité sur le feuillage. Au Mali, le beurre de karité est remplacé par de l'huile de Koby ou de l'huile de neem. Certains végétaux peuvent être ajoutés lors de la macération, Caecedra (feuilles et/ou écorce), ail, piment,... mais ces pratiques ne sont pas quantifiées. Les producteurs "bio" n'utilisent donc pas de pulvérisateurs Très Bas Volume (TBV).

Les traitements se font sur seuil après observation, mais le nombre de pulvérisations réalisées dans la pratique durant une campagne n'est pas réellement connu (5, 7, 8, ???).

L'utilisation des biopesticides peut être complétée par l'emploi de lignes de plantes pièges (gombo ou tournesol) intercalées avec les lignes de coton. S'il est recommandé d'installer une ligne de plante piège toutes les 5 lignes coton, aucune recommandation précise n'existe encore au Burkina. Aucune expérimentation locale ne confirme l'efficacité de cette méthode comme moyen de lutte contre les ravageurs du cotonnier au Burkina, son emploi repose exclusivement sur les informations en provenance du Mali.

En cas de fortes infestations de chenilles (phyllophages ?? carpophages ??), les agriculteurs peuvent aussi utiliser du Batik (poudre à base de toxine de *Bacillus thuringiensis*) à raison de 4 sachets par hectare et pour un coût de 500 F CFA / sachet.

Enfin, mis à part les pratiques visant à améliorer la fertilité organique, les autres pratiques agronomiques restent classiques :

- Ⓒ les rotations (année 1 coton/ année 2 céréale/ année 3 légumineuse) sont respectées, avec la possibilité de déplacer la légumineuse en année 4 et d'insérer une culture de sésame en année 3
- Ⓒ les labours et sarclages se font de façon classique (un labour supplémentaire en fin de saison des pluies peut être réalisé, si l'agriculteur sait déjà quelles parcelles seront semées, et dans ce cas il s'agit en fait d'un enfouissement d'engrais vert).

2.1.2.2. Entretien à l'UNPCB de Diapaga

Les recherches confiées à l'INERA et dont il a déjà été question, ont fait l'objet d'un protocole de recherche d'accompagnement portant sur trois volets :

- C volet 1 : la recherche de biopesticides pour la protection phytosanitaire
- C volet 2 : la recherche de techniques culturales améliorées (systèmes de rotation, plantes pièges pour réduire l'impact des ravageurs, introduction de légumineuses améliorantes dans le système de culture) et l'évaluation de l'impact de celles-ci sur la fertilité du sol en culture biologique et la productivité (rendement en coton-graine)
- C volet 3 : une étude socio-économique permettant de faire le point sur la perception du coton biologique par les différents acteurs du monde rural (agriculteurs, égreneurs,...) et d'évaluer son impact sur l'environnement, l'économie des exploitations, et sur la santé.

Les recommandations en matière de protection phytosanitaire sont approximativement les mêmes que celles fournies par l'ONG Helvetas. Cette protection repose essentiellement sur l'utilisation de graines de neem macérées dans de l'eau. Seule les quantités et la procédure changent légèrement : 4 Kg de graines sont macérées dans 80 litres d'eau en un seul fût, pour épandre le contenu de quatre pulvérisateurs de 20 litres par hectare.

La pratique des agriculteurs de la zone de Fada ne comporte pas l'emploi d'additifs comme le beurre de karité signalé à Ouagadougou. Diverses pratiques complémentaires ont ou sont utilisés dans la région. A Tiefora, les producteurs préparaient à part une macération d'écorce de karité qui était rajoutée au moment du traitement. Cette méthode a été abandonnée car elle blessait les arbres. A Fada même, ce sont des feuilles de karité qui sont pilées, puis macérées, le "jus" obtenu étant rajouté au moment du traitement toujours comme additif. En fait, il existe de nombreuses variantes endogènes pratiquées par les producteurs (ajouts de plantes diverses, sous des formes diverses [racine, écorce, feuille,...]) mais elles ne sont pas précisément identifiées.

A chaque pluie, le producteur traite à nouveau.

Les observations permettant de décider des traitements portent sur 30 plantes prises au hasard sur la diagonale des parcelles. Les chenilles présentes, les oeufs de lépidoptères, les organes attaqués ou sains, les organes tombés,... sont dénombrés. Les seuils pour ces différents paramètres de décision ne sont pas disponibles à l'UNPCB de Fada.

Beaucoup de producteurs ne sont pas alphabétisés et très peu peuvent suivre exactement la méthode complète préconisée. Certains observent seulement les oeufs, d'autres vérifient si le nombre de chenilles varie (baisse = satisfait = ne traite pas ; se maintient ou augmente = pas satisfait = traite à nouveau). En moyenne, les traitements sont estimés se situer entre 5 et 6 traitements par campagne.

Les quelques données chiffrées disponibles sont pour la zone de Fada :

C campagne 2004-2005 : 17 producteurs (72 dans tout le pays), 11,35 hectares (31,42 pour

tout le pays), 9.820 Kg de coton produit
 C campagne 2005-2006 : 192 producteurs, 126 hectares, 75 tonnes de coton produit
 C campagne 2006-2007 : 294 producteurs, 196 hectares, 107 tonnes de coton produit
 C campagne 2007-2008 : prévision de 502 producteurs cultivant 356 hectares.

2.1.3. Informations sur les pratiques phytosanitaires pour d'autres cultures dans la région de Diapaga et disponibilités pour l'encadrement (DAHRH)

Dans la région couverte par la Direction Provinciale de l'Agriculture, de l'Hydraulique et des Ressources Halieutiques (DAHRH) de Diapaga, trois communes sont proches du Parc :

C Botou : commune à côté du Parc
 C Diapaga : les villages de Barpoa, Tapoa Djerma, Garbongou et Pampali sont proches du Parc
 C Tansarga : proximité avec le Parc dans le cas des villages de Kabourou et Kondjo

Plus de la moitié des producteurs traitent les semences des cultures autres que le coton. Ils utilisent de l'Apron Plus 50 DS (100 g de métalaxyl + 60 de carboxine + 340 de furathiocarbe / Kg de poudre commerciale). Avec un sachet de 10 g d'Apron Plus 50 DS, ils traitent :

C 750 g de semences de mil
 C 1.000 g de semences de sorgho ou de maïs
 C 2.000 g de semences d'arachides, de niébé ou de soja.

Lorsqu'ils utilisent du Calthio DS (200 g de lindane + 250 de thirame / Kg de poudre commerciale), le dosage serait constant : un sachet de 10 g pour 10 Kg de semences.

Les quantités de semences utilisées par hectare lors des semis pour les principales cultures sont en moyenne :

C maïs : 25 Kg / ha (20-25)
 C mil : 8 Kg / ha (5-12)
 C sorgho : 11 Kg / ha (10-12)
 C niébé : 20 Kg / ha
 C sésame : 15 Kg / ha (5-20)
 C arachide graine : 80 Kg / ha.

Les semences de niébé sont pour la plupart traitée avec du Calthio DS, mais cette culture reçoit aussi le plus souvent trois traitements (2 à 3) avec du Décis 10 EC à raison de un litre de produit commercial par hectare (10 g de deltaméthrine / ha et par traitement). Les cultures de niébé en association avec des céréales (mil ou sorgho) ne sont pas traitées, mais les cultures pures utilisant des variétés améliorées (60 % des surfaces cultivées en niébé) le sont toujours. Enfin, la culture associée "niébé + coton" n'est pas rare, mais alors le niébé est protégé par les traitements prévus pour le coton.

La DAHRH compte avec trois services, le Service Technique, le Service Administratif et Financier, le Service d'Etudes et de Programmation, et sa zone d'intervention est divisées en 8

Zones d'Appui Technique (ZAT). Les responsables des ZAT assurent le suivi des exploitations, et la vulgarisation des nouvelles variétés, mais n'ont plus les moyens de mettre en place des parcelles de démonstration et se limitent actuellement dans ce domaine à un appui conseil dans le cas des nouvelles recommandations techniques.

En dessous des chefs de ZAT, opèrent les Unités d'Animation Technique plus proches des producteurs. Malheureusement, il n'y en a que 3 à Diapaga, 1 à Botou, 1 à Tambaga et 1 à Logobou. Les moyens d'encadrement des DAHRH sont donc actuellement nettement insuffisants et ce sont surtout des ONG comme TIN TUA (alphabétisation et formation technique en agriculture et élevage) ou des programmes ou projets comme ADELE, PICOFA, FICOD, PAFR qui renforcent l'encadrement des producteurs.

A l'exception de ceux destinés à la culture cotonnière, tous les produits phytosanitaires utilisés par les agriculteurs pour la protection des autres cultures proviennent du commerce informel et échappent à tout contrôle. Les informations obtenues de la DAHRH de Fada confirment que le seul marché formel et organisé pour l'acquisition d'engrais ou de produits phytosanitaires est celui mis en place par les sociétés cotonnières. Cependant, si un producteur maraîcher observe des dégâts de ravageurs, il peut consulter les services techniques de la DAHRH qui peut lui fournir du Décis (produit disponible en stock actuellement mais malheureusement inefficace contre *H. armigera*, ravageur important des cultures maraîchères devenu résistant aux pyréthrinoides). La question se pose donc de savoir quelles sont les pratiques réelles des producteurs dans ce type de situation.

2.1.4. La vision et les activités de la SOCOMA (entretiens de Diapaga et Fada)

2.1.4.1. Le coton biologique et/ou équitable

La SOCOMA n'a encore jamais égrené de coton-graine issu de l'agriculture biologique, mais est prête à tenter cette expérience, bien que certaines informations semblent indiquer que ce coton présenterait un pourcentage de "quartiers d'orange" (loges ou "locules" momifiés produits par des capsules ayant souffert des attaques de ravageurs) plus important que dans le cas du coton recevant une protection phytosanitaire classique. Par contre, dans la zone de Fada, la SOCOMA a déjà acheté du coton "équitable", qui est payé aux producteurs 272 F. CFA / Kg de coton-graine (prix équitable = 238 F. CFA + prime sociale = 34 F. CFA). Cette décomposition du prix confirme que la production de coton biologique et équitable n'apporte qu'un gain de 34 F. CFA / Kg par rapport au coton équitable traditionnel.

Dans la zone de Fada, il existe 66 groupements de producteurs de coton équitable travaillant avec la SOCOMA, lesquels ont produit approximativement 5.000 tonnes de coton-graine.

Les producteurs de coton équitable utilisent les mêmes engrais et les mêmes produits phytosanitaires que les producteurs traditionnels. On leur demande essentiellement de :

- d'avoir une bonne gestion au niveau du groupement (transparence)
- de respecter les doses recommandées lors des traitements qui doivent être réalisés dans de bonnes conditions (sécurité)

- Ç de respecter les dates recommandées pour les traitements
- Ç de ne pas utiliser de sacs en polypropylène (ou autres fibres synthétiques)

L'emploi de la lutte sur seuil est considéré comme un plus permettant de mieux respecter l'environnement.

2.1.4.2. Les traitements de semences

Toutes les semences de coton sont traitées, le produit actuellement employé étant du Calthio E. Le gauchio à base d'imidachlopride a été testé durant une seule campagne (2002-2003) sur semences délintées dans une seule commune. Ce produit a été ensuite abandonné à cause de la polémique concernant son possible effet sur les abeilles. L'étude de nouveaux produits pour ce type de traitement se poursuit activement car il est indispensable dans le cas des SCV, à cause des problèmes que provoque cette méthode, tant au niveau phytopathologique (champignons du sol) qu'entomologique, pour la levée et le développement des plantules. Les quantités de produits commerciaux (PC) et de matières actives (MA) correspondant à ces diverses alternatives sont présentés dans le tableau 01, ci-après :

Tableau 01 : Les traitements de semences utilisés commercialement ou en cours d'essai au Burkina Faso et dose correspondante de matières actives par hectare.

PC ou Produit Commercial	Matières actives		Dosage en % du poids de semence	g de MA / hectare
	nom	g. / Kg PC		
Calthio E	endosulfan	250	0,3	22,50
	thiram	250		22,50
Procot 40 WS	carbosulfan	250	0,7	52,50
	metalaxyl	35		7,35
	carbendazim	70		14,70
Cruiser 350 FS	thiametoxam	350	0,3	31,50
N.B. : le dosage des MA par hectare est calculé sur la base de l'emploi de 30 Kg de semences / ha				

2.1.4.3. Les traitements foliaires

Les de traitements foliaires pour la protection contre les ravageurs sont réalisés selon un programme calendaire fixe de 6 traitements (T1 = 30 JAL, T2 = 44 JAL, T3 = 58 JAL, T4 = 72 JAL, T5 = 86 JAL, T6 = 100 JAL ; JAL = nombre de jours après la levée). Plusieurs spécialités commerciales pouvant être retenues pour une même matière active appliquée à une même dose, ou des formulations simples pouvant être utilisées en mélange extemporané pour obtenir le même grammage par hectare qu'avec une formulation binaire, seules les quantités de matières actives seront prises en compte. Les programmes des campagnes 2006-2007 et 2007-2008 sont présentés dans les tableaux 02 et 03, ci-après :

Tableau 02 : Programme de traitement calendaire de la campagne 2006-2007 SOCOMA.

Traitement	Matière Active	g de MA / ha
T1	profenofos	500
T2	profenofos	500
T3	endosulfan	350
	cyperméthrine	36
T4	endosulfan	350
	cyperméthrine	36
T5	cyperméthrine	36
	acétamipride	8
T6	cyperméthrine	36
	acétamipride	8

Tableau 03 : Programme de traitement calendaire de la campagne 2007-2008 SOCOMA.

Traitement	Matière Active	g de MA / ha
T1	endosulfan	500
T2	endosulfan	500
T3	alphacyperméthrine	15
	profenofos	200
T4	alphacyperméthrine	15
	profenofos	200
T5	cyperméthrine	36
	acétamipride	8
T6	cyperméthrine	36
	acétamipride	8

2.1.4.4. La lutte sur seuil

Cette technique n'étant pas encore assez éprouvée, restera au stade de pré vulgarisation expérimentale pour la quatrième année durant la campagne 2007-2008. Les deux premiers traitements T1 et T2 restent fixes et sont réalisés avec la dose standard du programme classique que l'on utilise du profenofos comme durant la campagne 2006-2007 ou de l'endosulfan comme durant la campagne 2007-2008 (soit 500 g de MA/ha dans les deux cas à chaque traitement).

Les observations sont réalisées de façon hebdomadaire et débutent des 30 JAL, mais les décisions de traiter ou de ne pas traiter ne sont prises qu'à partir de T3 (= 58 JAL). A partir de cette date, les traitements peuvent être déclenchés durant n'importe quelle semaine.

Trente plants sont observés au hasard sur une diagonale de la parcelle (taille de 0,5 ou 1,0 ha actuellement) et les seuils de déclenchement des interventions sont les suivants :

♂ chenilles carpophages	: <i>Helicoverpa</i> + <i>Diparopsis</i> + <i>Earias</i>	= 05 / 30 plants
♂ chenilles phyllophages	: Spodoptera + Anomis	= 08 / 30 plants
	ou <i>Syllepte</i> (nombre de plants attaqués)	= 08 plants / 30
♂ pucerons	: Aphis (nombre de plants attaqués)	= 21 plants / 30
♂ mouche blanche	: Bemisia (nombre de plants attaqués)	= 10 plants / 30

Dans le cas des deux types de chenilles phyllophages, les deux types d'observations (nombre de chenilles présentes / 30 plants ou nombre de plants attaqués / 30 plants) ne sont pas cumulés. Si aucun des deux seuils n'est atteint individuellement, aucun traitement n'est réalisé.

Les produits utilisés sont les binaires (acaricides, aphicides, associations à base d'endosulfan) utilisés pour la protection classique, employés à la dose normale recommandée et en respectant le produit correspondant à la période (date JAL). Si le seuil des piqueurs-suceurs et celui des chenilles sont atteints en même temps, on mélange les deux produits.

Les résultats obtenus durant la campagne 2006-2007 avec 80 producteurs, soit 80 essais en couple, sont les suivants :

♂ classique	: 6,19 traitements réalisés (car 7 ou 8 peuvent être utilisés en cas d'attaques ou de semis précoces) avec un rendement de 1.245 Kg de coton/ha
♂ sur seuil	: 4,75 traitements réalisés (y compris les deux premiers fixes, donc 2,75 sur seuil) avec un rendement de 1.375 Kg de coton/ha.

L'objectif final est la réalisation des observations par les producteurs eux-mêmes, une fois formés par les agents encadrant cette activité. Actuellement l'alphabétisation des producteurs n'est pas considéré comme un frein majeur pour le développement de cette méthode, les outils nécessaires à sa mise en oeuvre étant estimés comme adaptés (planchettes d'observation simplifiées).

2.1.4.5. Les herbicides

Le glyphosate est utilisé à la dose de 700-720 g de MA / ha, en culture cotonnière ou de céréales, soit en nettoyage de la parcelle avant semis, ou en début de culture en interligne avec une lance munie d'un cache permettant une pulvérisation dirigée n'atteignant pas la culture.

Les deux autres herbicides pouvant être utilisés sont le diuron (culture cotonnière : 800 g de MA / ha) et l'atrazine (cultures céréalières : 900 g de MA / hectare).

Pour la campagne 2007-2008, les quantités prévues, toutes cultures confondues (arachide, coton, maïs,...) sont :

♂ atrazine	: 900 g de MA / Kg de PC	26 tonnes de PC	= 23,40 tonnes de MA
♂ diuron	: 800 g de MA / Kg de PC	42 tonnes de PC	= 33,60 tonnes de MA
♂ glyphosate	: 720 g de MA / Kg de PC	96 tonnes de PC	= 69,12 tonnes de MA

2.1.4.6. Le Programme “Biodiversité”

Ce programme comprend trois volets d’activités, les semis sous couverture végétale (SCV), le développement des haies vives et les semis direct sans préparation du sol sur sol découvert avec herbicide. Cette activité a réellement débuté en 2006-2007 et n’a pas encore fourni de résultats validés, en particulier les dates de semis restent à ajuster pour les pratiques concernant cette étape de la culture.

¶ Les SCV

Deux types de SCV pour la culture cotonnière et pour les cultures céréalières (= 4 modalités) sont étudiés chez 130 agriculteurs, chaque modalité étant testée sur 1/8 d’hectare :

- ¶ SCV coton : (1) semis de coton sur couverture de paille / (2) coton sans paille
- ¶ SCV céréales : (3) céréale + plante de couverture / (4) céréale seule

Les feux de brousse représentent un problème important dans la mise en oeuvre des SCV qui nécessitent une protection particulière pour que la biomasse produite ne soit pas brûlée. La Direction Générale de la Conservation de la Nature (DGCN) pilote par ailleurs un projet de gestion de ces feux, avec un comité de lutte dans chaque village. Ce problème concerne aussi l’installation des haies vives dont il sera question ci-après.

¶ Les haies vives

L’objectif est d’entourer les parcelles cultivées afin de protéger la paille ou la biomasse produite par les SCV. L’espèce actuellement retenue pour cette étude est *Zyzyphus mucronata*, les autres espèces expérimentées jusqu’alors ayant été abandonnées pour diverses raisons.

La mise en place et le développement des haies nécessite 3 ans pour obtenir un résultat satisfaisant. Les systèmes de rotations retenus sont étudiés à l’intérieur des haies, 8 Km de haies étaient disponibles pour la campagne 2006-2007. Chaque paysan entoure sa propre exploitation, environ 400 m étant nécessaires par exploitation cultivant 1 ha. L’objectif est d’atteindre 50 Km de haies installées à la fin de la campagne 2007-2008.

Le principal problème de ce type d’activité est son coût à l’étape de recherche/développement. Le seul volet portant sur les clôtures au moyen de haies vives coûtant environ 4.000.000 de F. CFA pour seulement le gardiennage des trois sites existant.

2.1.4.7. L’ampleur du problème de l’encadrement

La zone d’intervention de la SOCOMA compte avec environ 48.700 exploitations en 2006-2007 et en moyenne approximativement 10 personnes intervenant par exploitations, soit 500.000 producteurs. Ainsi sur une seule exploitation cultivant 4 hectares de coton, il peut y avoir 7 exploitants. L’introduction du conseil de gestion pour renforcer les capacités de décision des producteurs est prévue, mais cette activité n’a pas encore démarré.

2.1.5. Entretien avec les intervenants du projet ECOPAS sur le terrain et leurs partenaires.

2.1.5.1. Entretien avec le Président de l'URPCE

80 à 90 % des agriculteurs de la région de Diapaga cultivent du coton, mais aucune expérience n'a encore été conduite en matière de coton "bio" ni de coton équitable. Il existe plus de 600 GPC dans cette région. Auparavant des intrants étaient introduits de façon informelle de l'extérieur, mais depuis l'installation de la SOCOMA, cette société assure la fourniture de tous les intrants nécessaires. Le rendement moyen pour la campagne 2006-2007 peut être estimé à 960 Kg/ha, donc en baisse, mais ce phénomène n'est pas lié à des facteurs de production (intrants mis en place à temps, fertilité du sol ou problème de ravageurs) mais un problème de pluviométrie (semis tardif par manque de pluie, puis persistance de ce phénomène).

Parmi les villages contigus au Parc W, le village de Logobou est celui qui réunit le plus de producteurs de coton.

Les insectes identifiés comme les plus nuisibles sont les chenilles des capsules (sans précision des espèces) et les punaises rouges qui piquent les capsules et provoquent leur abscission (*Dysdercus* ?). Les ravageurs du feuillage (en particulier *Syllepte*), ne sont pas considérés comme un problème par les producteurs.

Une expérience de lutte sur seuil a été tentée par le Président de l'URPCE et cela a été un échec sérieux avec une perte quasi totale de la production. Cette méthode ne sera jamais acceptée de nouveau dans sa zone. Une des causes de cet échec semble que le suivi/réalisation de cette expérience, en particulier les observations devant conduire à la décision de traiter ou non, étaient confiés aux ATC (Agents Techniques Coton). Or un seul ATC encadre 50 GPC et avait à sa charge le suivi de 10 parcelles sur seuil.

Enfin, le niébé est signalé comme la culture la plus attaquée par des ravageurs (en dehors du coton). Il est parfois cultivé en association avec le coton, mais le plus souvent en culture pure (meilleure production). Dans ce cas, il est toujours traité avec des produits issus du commerce informel, de même que les cultures maraîchères.

2.1.5.2. Entretien avec le responsable de la périphérie du Parc au Burkina Faso

Les partenaires sur le terrain sont les Comités Villageois de gestion de la faune (CVGF). La périphérie du Parc au Burkina Faso est divisée en trois zones, chacune comptant avec un animateur et des "villages phares" :

Centre	: villages phares	: Kabougou, Koumalgou, Nangouanli, Toptiagou
Sud	: villages phares	: Gnimboama, Kondjo, Lada, Pielgou
Nord	: villages phares	: Barpoa, Garbongou, Pampanli, Tapoa-Djerma

Les animateurs sont choisis en fonction de leur compréhension de la langue locale et leur connaissance des éléments du terroir. Leur rôle principal est de discuter avec les populations et de rendre compte des problèmes identifiés.

Les villages comptant avec un CVGF présentent les particularités suivantes :

- Ç ils sont dans la périphérie même du Parc et leur terroir est directement contigu avec le Parc
- Ç leurs populations n'ont plus accès au Parc, elles ont été expulsées des zones d'incursions qui existaient auparavant
- Ç toutes les activités d'aménagement rémunératrices développées dans ces villages associent les CVGF.
- Ç un compte bancaire a été ouvert au nom de chaque CVGF (tous les individus réalisant un travail rémunéré pour le Parc [ouverture de pistes, nettoyage des miradors,...], ne perçoivent que 90 % de leur salaire, les 10 % restant sont versés sur le compte du CVGF ; seuls les individus travaillant à plein temps au point triple [creusage de "Boulis"] perçoivent 100 % de leur salaire)
- Ç chaque CVGF dispose d'une zone villageoise de chasse (ZOVIC), qui sert de zone tampon dans lesquelles les actions d'aménagement (ouverture de pistes périmétrales ou internes, démarcage des périmètres,...) sont rémunérées selon le système 90%/10%. Ce sont des zones de "petite chasse" et pour y accéder les chasseurs paient un droit par personne et par jour de chasse (reversé à 100 % sur le compte du CVGF)
- Ç les fonds collectés permettent de financer des activités communautaires (dispensaires, maternités,...)

L'ensemble des incitations faisant la particularité des villages comptant avec un CVGF permet jusqu'à présent de maintenir leurs populations hors du Parc. Elles sont gérées par le projet ECOPAS et d'autres comme ADELE, PICOFA,....

Un important travail de formation des responsables villageois est donc nécessaire pour qu'ils soient capables de gérer ces activités incitatives et les fonds ainsi collectés, afin qu'à l'interruption de ces projets les incursions dans le Parc ne recommencent pas. La conscientisation de la nécessité de protéger le Parc devra se substituer aux ressources spécifiques apportées par le projet ECOPAS (salaires pour l'entretien des pistes, les aménagements divers,...).

La création de brigades dénommées Unités de Protection et de Conservation, dépendant de la Direction Nationale des Cadres Paramilitaires des Eaux et Forêts (DNCPEF), est déjà une première mesure pour éviter l'incursion dans le Parc des individus récalcitrants non convaincus par les actions de sensibilisation. Si ceux-ci invoquent le caractère héréditaire du droit à la terre, ECOPAS négocie avec les Chefs de Terre et les présidents des CVGF concernés. Il n'y a actuellement pas de pénétration agricole dans le parc sensu-stricto, et celles observées dans les ZOVIC (en particulier celle de Lada) ont été résolues par ces négociations.

Dans les "villages phares" cités précédemment, la culture du coton n'a pas encore été introduite et c'est pour ceux-ci que la possibilité d'une production de coton biologique a été envisagée. Cette possibilité représente un risque important. Si les agriculteurs commencent à produire du coton biologique, ont de mauvais résultats (même pour des raisons étrangères à la méthode comme un climat défavorable), et prennent connaissance qu'une meilleure productivité est possible avec d'autres techniques (ce qui est inévitable avec les échanges entre villages), ils adopteront rapidement la culture cotonnière classique avec l'utilisation de l'ensemble des intrants qu'elle requiert (engrais chimiques, produits phytosanitaires,...). La question qui se pose alors

est l'identification d'autres cultures de rente pour ces zones, au moins aussi avantageuses économiquement, mais moins péjorantes, ou l'interdiction totale du coton selon la position par rapport au Parc, ou la mise au point d'itinéraires techniques de production pour le coton dont l'effet sur l'environnement reste acceptable.

Enfin, comme action de sensibilisation, des contrats ont été passés avec des radios locales pour la diffusion de thèmes précis, tels que la lutte contre le braconnage, les risques liés à la production du coton,.....

2.1.5.3. Entretien avec un encadreur de la périphérie du Parc au Bénin

Dans le cas du Bénin, la périphérie du Parc se situe dans la ceinture cotonnière la plus importante et la plus performante du Bénin. Le coton était cultivé à l'intérieur même du Parc, au moins de 1975 jusqu'aux années 90. La mise en place du projet ECOPAS l'en a éradiqué et il n'y en a plus depuis 2001. On retrouve par contre cette culture tout au long de sa périphérie. Dans l'Alibori, les zones importantes sont les communes de Banikoara (arrondissement de Founougo proche du Parc), Kandi (Angaradébou proche du Parc), Gogounou., Segbana et ceci jusqu'à Malanville (arrondissement de Guéné proche du Parc). Dans l'Atacora, le coton produit à Kérou (arrondissements de Firou et Kaobagou) est proche du Parc.

Le coton est la seule culture payée de façon certaine à un prix garanti, cette culture est incontournable dans l'esprit des paysans. Dans cette zone, il est considéré comme l'élément de base de la lutte contre la pauvreté (couverture des frais de scolarité, santé, d'achat de bétail ou d'instruments agricoles comme les charrues).

Lors des prospections effectuées par cet encadreur, la présence d'aucun insecticide organochloré n'a été trouvée dans sa zone d'activité.

Le problème spécifique aux cours d'eau déjà mentionné dans le paragraphe 2.1.1. est à nouveau évoqué. Les deux principaux cours d'eau proviennent de l'Atacora, la Mekrou ayant sa source dans la commune de Kouande (dans un village entre Pehunco et Kouande) et l'Alibori ayant sa source dans l'arrondissement de Tobré dans la commune de Pehunco. Leur amont, en dehors du Parc et de sa périphérie, traverse donc une importante zone cotonnière avec des champs tout au long des rives, jusqu'à Banikoara à l'entrée du Parc.

La pêche utilisant des insecticides pour tuer les poissons a été éradiquée dans le Parc et sa périphérie. Elle doit cependant persister en dehors sur le parcours des cours d'eau. Cette pratique a toujours existé, mais les pêcheurs étaient auparavant organisés en groupement villageois et employaient un système traditionnel utilisant des extraits de racines et/ou d'écorces de végétaux. Ces pratiques ayant été interdites, les organisations villageoises ont disparu et la récolte collective des végétaux nécessaires ne se fait plus. Les insecticides agricoles d'obtention facile dans tous les villages sont désormais utilisés. Le développement de techniques de pêche performantes, à la portée des paysans, pouvant se substituer aux pratiques utilisant l'empoisonnement des poissons serait donc un aspect important à prendre en compte au moins pour réduire l'impact de ces pratiques sur la contamination des cours d'eau.

Une première expérience de développement du coton biologique, conduite par le SNV (Service Néerlandais pour le Développement), a débuté en 1996 dans les zones de Banikoara et Kandi, avec peu de succès dans cette zone cotonnière traditionnelle, puis a été abandonnée. L'OBEPAB (Organisation Béninoise pour la Promotion de l'Agriculture Biologique) a débuté son action de promotion de la culture du coton biologique dans les départements des Collines et du Zou, zones plus marginales quant à la production cotonnière. Actuellement l'OBEPAB a repris cette promotion dans la zone de Banikoara, Kandi et Segbana, avec 498 adhérents en 2007, totalisant 480 hectares, une demande de 122 ha supplémentaires étant restée insatisfaite faute de moyens de la part de l'OBEPAB pour sa mise en œuvre.

Le paysan perçoit deux primes pour compenser les faibles rendements et le travail important demandé par la fabrication des biopesticides et l'intégralité de celles-ci sont versées au paysan (à la différence du Burkina Faso où existe une prime sociale versée aux GPCbio) :

- € une prime au Kg de coton-graine de + 20 % par rapport au coton conventionnel
- € une prime de 68.000 F CFA par tonne.

Le prix payé pour le coton-graine produit traditionnellement étant de 170 F CFA / Kg pour la campagne 2006-2007 (coton de premier choix, contre 120 F CFA / Kg pour le coton de second choix), la première prime représente 34 F CFA / Kg. La seconde apparemment fixe représentant 68 F CFA / Kg, le surplus de prix payé serait de 102 F CFA / Kg, soit sensiblement identique aux 107 F CFA payés en plus au Burkina Faso pour le coton biologique et équitable sans la prime sociale.

Les rendements observés sont nettement inférieurs à ceux de la production traditionnelle et la culture biologique du coton dans cette zone se maintient cependant grâce à ces primes.

Les quantités totales produits au Bénin seraient de approximativement 45 tonnes pour la campagne 2005-2006 et 203,12 tonnes pour la campagne 2006-2007.

Enfin, il faut citer le projet d'écodéveloppement qui avait été mis en place dans cette zone par l'UICN (Union Internationale pour la Protection de la Nature) pour former les paysans à de meilleures pratiques agricoles (respect de l'environnement). Malheureusement ce projet a été arrêté avant d'arriver à son terme.

2.1.6. Deux lois importantes pour la protection du Parc

Les références de deux textes importants ont pu être obtenues lors des entretiens conduits lors de cette mission :

- € du SDECV à Diapaga : le Code Forestier du Burkina Faso correspondant au Décret N°111/PRES du 17 mars 1997 portant promulgation de la loi N° 006/97/ADP du Ministère de l'Environnement et de l'Eau (55 pages)
- € du MECV à Ouagadougou : la loi portant sur la réorganisation agraire et foncière, Décret N° 97-054/PRES/PM/MEF du 06 février 1997 portant promulgation de la loi N° 014/96/ADP du 23

En effet, ils traitent de points importants pour la protection du Parc et peuvent aider, par leur application, à mettre en oeuvre des propositions essentielles. Ce sont :

- Ⓒ la protection des berges pour les cours d'eau et les points d'eau en fixant les distances minimales agricoles (distance en les parcelles agricoles et les berges), point essentiel pour la mise en oeuvre des zones tampons comme moyen de réduire l'impact environnemental des traitement phytosanitaires (en particulier pour la réduction de la contamination des cours d'eau)
- Ⓒ le nombre d'arbres à maintenir par hectare lors d'une défriche pour créer un nouveau champ, élément important pour appuyer la mise en oeuvre de la préservation des arbres ou la restauration de leur fonction agroécologique proposée dans le rapport de F. Baudron (2007).

Il n'a malheureusement pas été possible d'en obtenir une copie durant la mission afin de pouvoir connaître avec plus de précision les valeurs imposées par ces textes pour les deux paramètres mentionnés.

2.1.7. Entretiens avec l'INERA

Malheureusement tous les chercheurs du Centre de l'INERA de Fada, impliqués dans les études portant sur la protection phytosanitaire, étaient absents lors de la visite de centre. Le chef de centre n'a pu que préciser que l'essentiel des essais ont lieu dans la zone cotonnière principale de Bobo Dioulasso et qu'il avait connaissance d'essai utilisant des extraits de neem, sur coton, mais aussi sur niébé, en maraîchage et pour la conservation des denrées stockées. Il a cependant pu fournir divers contacts ayant pu ensuite être exploités à partir du Bénin.

2.1.8. L'impact sur la santé humaine

Le médecin chef du centre médical de Diapaga ne dispose d'aucune statistique concernant les cas d'empoisonnements par les produits phytosanitaires. Il a seulement connaissance de quelques cas isolés, information rapportée de façon informelle de dispensaires plus proches des producteurs.

La Direction Régionale de la santé pour l'Est du Burkina Faso, localisée à Diapaga, confirme l'absence de statistiques traitant de ce sujet à leur niveau. Cependant, quelques cas ont été rapportés à cette Direction, et il en ressort trois points :

- Ⓒ les quelques accidents connus et correspondant à une intoxication lors de la réalisation des traitements sont très rarement mortels, les victimes allant rapidement dans les centres de santé dès l'apparition des symptômes ce qui permet le plus souvent de les sauver
- Ⓒ des cas de suicide sont rapportés comme mortels
- Ⓒ un problème rapporté à plusieurs occasions est celui de la consommation de semences traitées : les paysans traitent les semences de diverses cultures vivrières avec des produits

inadéquats, l'excédent après la fin du semis des parcelles est ramené au domicile et consommé. Ce type de cas avait déjà été mentionné comme le plus fréquemment mortel dans le rapport de la première mission (Guibert & Prudent, 2006) faisant état de l'enquête conduite au Bénin durant la campagne agricole 1999/2000 (Hadonou Yovo, 2000).

2.1.9. La contamination des ressources aquatiques au Burkina Faso

2.1.9.1. Les modifications de la microflore dans les points d'eau (IRD)

Les modifications de la microflore dans les points d'eau mises en évidence par les travaux de recherche conduits par l'IRD au Burkina Faso avaient déjà été évoquées dans le rapport de la première mission de 2005 (Guibert & Prudent, 2006).

Les déséquilibres alors constatés, avec une prolifération exubérante des cyanophycées, ont conduit à réaliser des recherches sur la présence dans l'eau de substances toxiques pouvant expliquer cette prolifération. Quatre-Vingt-Six (86) substances chimiques (matières actives ou leurs isomères ou leurs produits de dégradation) ont été recherchées dans les eaux de douze (12) réservoirs d'eau : Bagré, Bam, Bamsa, Bazègue, Dern, Gloaghin, Koubri bougainvillier, Koubri monastère, Koubri village, Loumbila, Petit Bagré, Sian. Parmi ces 86 substances dont la liste complète est présentée dans l'annexe 05, seules trois ont été détectées (Cecchi Philippe, communication personnelle) :

- Ⓒ le diclofopméthyl : à Sian,
- Ⓒ le diflufenicanil : à Koubri monastère, Petit Bagré et Sian,
- Ⓒ l'éthofumesate : à Sian.

Ces trois molécules sont toutes des herbicides (Acta, 1998) :

- Ⓒ le diclofopméthyl : (ou diclofop-méthyl) il appartient à la famille chimique des dérivés aryloxy-propionique et est essentiellement efficace sur les graminées non vivaces. Sa DL 50 pour le rat par ingestion se situe entre 560 et 580 mg/kg. (dose d'utilisation recommandée : 720 à 1.260 g/ha ; à 360 g/ha seulement sur le ray-grass).
- Ⓒ le diflufenicanil : il appartient à la famille de phénoxy nicotilanilides et est un herbicide anticotylédones annuelles utilisé en cultures céréalières. Sa DL 50 pour le rat, orale et cutanée, est de 2.000 mg/Kg. (dose d'utilisation recommandée : inexistante, car recommandé en cultures de céréales mais toujours en association)
- Ⓒ l'éthofumesate : il appartient à la famille chimique des benzofurannes et est surtout actif sur graminées et certaines dicotylédones. Sa DL 50 pour le rat par ingestion est supérieure à 6.400 mg/Kg. (dose d'utilisation recommandée : 500 à 1.500 g/ha).

Le second est exempté de classification, le troisième aussi mais il est signalé comme moyennement dangereux pour les poissons, seul le premier est classé Xn (nocif). Les valeurs de toutes les matières actives citées dans ce rapport et pour lesquelles cette information a pu être

obtenue de façon fiable sont présentées dans l'annexe 06. Cette information n'est disponible que pour deux de ces herbicides : le diclofop-méthyl (29,0) et l'éthofumesate (30,0).

Cette étude n'a donc mis en évidence la présence d'aucun produit phytosanitaire utilisé en culture cotonnière, mais seulement celle de trois molécules herbicides essentiellement utilisées contre les graminées adventices des cultures céréalières.

La toxicité de deux produits largement utilisés en agriculture au Burkina, le paraquat (un herbicide) et la deltaméthrine (un insecticide) a été testé sur divers microorganismes aquatiques. Le paraquat s'est révélé légèrement toxique pour la bactérie utilisée dans ces tests (*Cylindrospermopsis raciborskii*, une cyanobactérie) et l'espèce de phytoplancton utilisée (*Monoraphidium* sp., une chlorophycée) et la deltaméthrine ne s'est avérée toxique qu'uniquement sur les espèces de zooplancton (*Diaphanosoma excisum* et *Moina micrura*). Mais les molécules utilisées dans ces tests ne se retrouvent pas dans les extraits d'eau (Leboulanger et al., in prep a). Cette étude souligne l'importance de tester l'effet des produits phytosanitaires sur des espèces collectées localement, plutôt que sur des espèces de référence cultivées en laboratoire de façon standardisée, pour mieux comprendre l'impact de ces produits sur les communautés de microorganismes aquatiques.

La création d'un atlas des lacs et réservoirs au Burkina Faso est en cours (Cecchi et al., 2007). Cet outil devrait permettre, en regroupant les données sur ces points d'eau et leur environnement, de mieux analyser et comprendre les interactions entre la dégradation des milieux aquatiques et les modifications de leur environnement, condition nécessaire à la mise en oeuvre d'interventions visant à leur conservation.

2.1.9.2. La contamination des réservoirs par le maraîchage

2.1.9.2.1. L'étude de Some K. (2007) sur les réservoirs de Loubila et de Mogtédou.

L'étude réalisée par SOME (2007) attribue la contamination des eaux des réservoirs de Loubila et Mogtédou à l'érosion des terres agricoles en début de campagne pluvieuse (période coïncidant avec la préparation de sols) et au développement de l'agriculture de saison sèche, en particulier le maraîchage. En saison des pluies, l'humidité des pourtours des réservoirs augmentant, les producteurs y installent des cultures vivrières (essentiellement maïs et sorgho) faibles consommatrices de produits phytosanitaires. Toutes les cultures maraîchères sont attaquées par des ravageurs, la tomate, le piment et le poivron, mais ce sont surtout les aubergines locales et les choux qui reçoivent le plus de traitement. Sans protection phytosanitaire conséquente, la productivité de ces deux dernières spéculations est quasiment nulle selon les producteurs. A Mogbétou, 18 spécialités commerciales phytosanitaires sont disponibles (présence constatée de 16 sur le terrain), contre seulement 9 à Loubila (présence constatée de 8 sur le terrain). La liste de ces produits est présentée dans l'annexe 07. Les produits dont la présence n'est pas constatée sur le terrain sont justement des produits destinés au maraîchage, la plupart de ceux effectivement utilisés étant à l'origine destinés à la culture cotonnière. Les producteurs justifient cet usage par le manque de produits destinés au maraîchage, leur prix très élevé et leur inefficacité. Cette étude ne fait malheureusement pas état de dosage de produits phytosanitaires dans les réservoirs étudiés, mais se limite aux minéraux et engrais. Le principal contaminant est le fer dont la teneur dans les eaux dépasse largement les normes acceptables.

Ce mémoire évoque l'intérêt de la mise en place de zones tampon enherbées entre les aires cultivées et les points d'eau, pour limiter la contamination de ces derniers par ruissellement.

2.1.9.2.2. L'étude du projet IMPECA sur le réservoir de Toukoumtouré

Le projet IMPECA, financé par la coopération danoise (DANIDA), a permis une étude approfondie de l'impact des activités maraîchères sur le réservoir d'eau de surface de Toukoumtouré, au Burkina (Hyrkäs & Pernholm, 2007). Cette étude trouve son origine dans les travaux conduits par l'IRD sur la modification des populations de microorganismes aquatiques (Cecchi et al., 2005 ; Leboulanger et al., in prep b) et la nécessité d'identifier les causes à l'origine de la prolifération des populations de cyanophycées.

L'objectif principal est avant tout méthodologique, afin d'aboutir à une procédure rodée et satisfaisante pour les travaux qui seront réalisés par la suite par ce projet, d'où son intérêt ici en prévision de possibles études portant sur la problématique de la contamination des eaux concernant l'environnement du Parc.

Les cultures dominantes dans la périphérie de ce réservoir sont les oignons verts (oignon feuille) et l'aubergine européenne (*Solanum melongena*), mais sont aussi produits des aubergines "africaines" (*Solanum aethiopicum*), bananes, choux, concombres, courgettes, papayes, piments, tomates... Deux classes de producteurs interviennent dans cette zone, des populations urbaines cherchant un supplément de ressources et des populations rurales ayant le même objectif mais retournant à la préparation de grandes cultures lors du manque d'eau dans le réservoir. Ce second cas se rencontre très probablement aussi près de point d'eau dans la périphérie du Parc et surtout le long des cours d'eau y pénétrant.

Les producteurs traitent régulièrement au moins une fois par semaine, avec la possibilité de réaliser des applications supplémentaires lorsque des attaques particulières sont observées. La liste de produits identifiés comme utilisés par les producteurs est présentée dans l'annexe 08.

Parmi ces produits, ceux qui ressortent comme les plus utilisés par les producteurs sont le Lampride 46 EC (65 % des producteurs) et le Lambda Super 2,5 EC (48 % des producteurs) (MA et autres détails en annexe 08) qui heureusement sont relativement peu dangereux. Les quantités utilisées sont très variables d'un producteur à l'autre et selon les cultures. La moyenne la plus élevée est 847,5 g de lambdacyhalothrine + 452 g d'acétamipride par mois et par hectare, sur courgette "zucchini" (28,5 litre par mois et par hectare de Lampride 46 EC !). Par culture ces chiffres sont :

£ zucchini	: 28,25 l par ha et par mois de Lampride 46 EC
£ oignon vert	: 10,08 l par ha et par mois de Lampride 46 EC + 2,62 l/ha et /mois de Lambda Super 2,5 EC
£ tomate	: 9,40 l par ha et par mois de Lampride 46 EC
£ aubergine	: 8,35 l par ha et par mois de Lampride 46 EC + 0,07 l/ha et /mois de Lambda Super 2,5 EC
£ oignon	: 5,53 l par ha et par mois de Lampride 46 EC

Les plantations de banane et de papaye sont très peu traitées (0,46 et 0,77 l/ha et / mois de

ces deux produits respectivement).

La plupart de ces cultures finissent avec le démarrage des pluies, ce qui selon l'observation de SOME (paragraphe précédent) sur l'érosion alors importante, devrait entraîner une forte contamination des eaux. Ici, il apparaît cependant que les concentrations dans l'eau (lambdacyhalothrine et acétamipride) n'atteignent jamais des niveaux dangereux, mais ces substances sont stockées dans les sédiments et le sol.

2.1.9.2.3. Bilan des pratiques phytosanitaires signalées dans ces deux études

Il ressort des ces deux études que les producteurs maraîchers opérant dans les zones périphériques de réservoirs d'eau utilisent essentiellement des produits destinés à la culture cotonnière, ou d'origine inconnue mais non destinés au maraîchage, seul le Lambda Super 2,5 EC destiné à cet usage étant employé à Lumbila et Toukountouré. Les listes de produits signalés dans ces deux études conduites séparément sont très similaires, bien qu'apparemment aucun herbicide ne soit utilisé à Toukountouré.

L'étude de Some (2007) est seulement qualitative, les quantités utilisées n'étant pas précisées. Hyrkäs & Pernholm (2007) est plus précise indiquant des quantités de matières actives par hectare dépassant très largement celles employées en culture cotonnière. L'EIQ correspondant aux traitements par hectare en cultures de courgette (zucchini) **appliqués en un seul mois** atteignant 48.291 (méthode de calcul prenant en compte les g. et non les Kg de MA appliqués par hectare) contre 29.470 pour un traitement sur coton avec de l'endosulfan au Bénin, 21.050 pour un traitement sur coton avec de l'endosulfan au Burkina Faso, ou 79.841 pour les traitements de fonds **d'une année** en utilisant la lutte étagée ciblée dans le Nord du Bénin (EIQ annuel réduit à 20.901 pour les 4 derniers traitements si on retire les 2 premiers utilisant de l'endosulfan) (Guibert & Prudent, 2006).

Dans les deux cas, on retrouve l'emploi de deux matières actives particulièrement dangereuses, l'endosulfan et surtout le carbofuran. Hyrkäs & Pernholm (2007) en indiquant cependant un usage limité. Toujours dans les deux cas, les paysans ne sont pratiquement pas encadrés et ne disposent pas de produits adéquats, malgré une forte consommation de produits phytosanitaires par unité de temps et d'espace qui devrait justifier un suivi beaucoup plus étroit des cultures maraîchères.

Cecchi (2007) souligne en effet l'évolution récente de l'activité maraîchère avec une mutation profonde du profil des exploitants, cette activité jusqu'alors réalisée par des agriculteurs autochtones pratiquant une petite agriculture de contre-saison attirant de plus en plus de nouveaux acteurs d'origine urbaine (Ouédraogo, 2006), variation du profil des exploitants particulièrement due à une recherche d'amélioration de leurs revenus importante pour leur conditions de vie confirmée par Cissé et al. (2002) et Gerstl et al. (2002).

Un travail important est donc indispensable pour réduire l'impact du maraîchage sur l'environnement, surtout en ce qui concerne la problématique de la contaminations des eaux, importante pour le Parc (contaminations initiales détectées dans les points d'eau, puis dans le animaux s'y abreuvent) et ne pouvant être résolue qu'en considérant sa seule périphérie.

2.2. Les informations collectées au Bénin.

Ce paragraphe a pour propos de présenter les éléments d'information, collectés au Bénin ou depuis de pays, suite au premier rapport de 2006 et susceptibles d'apporter des éléments complémentaires permettant une meilleure analyse de la problématique de l'impact de l'agriculture sur le Parc W ainsi que ceux utiles à la mise en oeuvre des propositions de recherches (en particulier documentation bibliographique).

2.2.1. Compléments d'informations sur les contaminations en culture maraîchères.

2.2.1.2. La contamination des sites maraîchers au Bénin.

2.2.1.2.1. Le site de Houéyiho à Cotonou (Sanny, 2002).

Les produits identifiés comme employés sur ce site lors de cette étude sont :

- ⌘ Le Diphonate (Dyfonate ?) : fonofos (granulés 50 g. MA/ ka de PC). Cet organophosphoré est extrêmement toxique (Classe T+, DL 50 sur le rat par ingestion de 8 à 17,5 mg/Kg), dangereux pour les abeilles et les poissons, et a en plus une persistance d'action de 2 à 3 mois (ACTA, 1998).
- ⌘ Le Thiodan 350 EC : endosulfan (très connu, et mentionné à de nombreuses reprises dans ce rapport et les précédents).
- ⌘ Le Manèbe MP : manèbe (formulation exacte non précisée). Ce fongicide de la famille des dithiocarbamates est très peu toxique (DL 50 sur le rat par ingestion = 6.750 mg./Kg, Classe Xi), mais signalé dangereux pour les poissons (ACTA, 1998).

Le Dyfonate est utilisé en culture de carottes, le Thiodan sur poivron et le Manèbe sur grande morelle (*Solanum macrocarpum*) et sur choux. Des extraits de feuilles de papaye et de savon (procédé recommandé en lutte biologique) ont été utilisés sans succès.

Malheureusement les quantités employées (dosage / ha, nombre de traitements,...) ne sont pas précisées et les recherches de résidus sur les légumes, dans le sol et dans l'eau, n'ont porté que sur les organochlorés et l'endosulfan.

Le détail de ces analyses est présenté en annexe 09. On retrouve une problématique très semblable à celle déjà observées lors de la première mission (Guibert & Prudent, 2006). L'emploi d'aucun des organochlorés détectés n'est signalé comme étant toujours utilisés par les producteurs., mis à part l'endosulfan qui n'est pas un organochloré sensu-stricto. Malgré cela, les résidus trouvés dépassent la norme du Codex Alimentarius dans 10 cas (légumes x nombre de produits/légume). La teneur en résidu est beaucoup plus faible dans l'eau (voire non détectable dans le cas de l'heptachlore) que dans les sols (sauf pour les DDTs). Les traces d'endosulfan, produit pourtant signalé comme encore utilisé, ne dépassent pas les normes. L'heptachlore n'est pas détectable dans l'eau, mais l'est sur tous les légumes et la concentration sur choux dépasse même la norme Codex. La contamination des légumes ne semble pas provenir de mauvaises pratiques, ni pouvoir être attribuée à l'eau d'arrosage, mais bien à la présence de quantités

importantes de résidus dans les sols et à une contamination des légumes par celui-ci (en particulier les projections lors de l'arrosage).

Mis à part les résidus de produits phytosanitaires, ce mémoire fait état d'une contamination par les métaux lourds et aussi microbiologique par matières fécales.

2.2.1.2.2. Contaminations des cultures de *Solanum macrocarpum* dans le sud du Bénin (Assogba-Komlan et al., 2007).

Cette étude porte uniquement sur la culture du légume feuille *Solanum macrocarpum* (morelle ou gboma en langue fon) dans les zones intra et périurbaines de sept villes réparties en trois zones par type de production :

- ℄ zone du cordon littoral située aux abords de la mer : Grand-Popo Centre, Sèmé
- ℄ zone de décrue : Adjohoun, Athiémé, Grand-Popo rural
- ℄ zone intra et périurbaine : Cotonou, Porto-Novo, Ouidah.

Une enquête effectuée auprès de 101 producteurs (environ 30 par zone) a porté entre autres paramètres sur les pratiques phytosanitaires. Les résultats de cette enquête sont présentés dans l'annexe 10. Dans le document original le nom complet des produits commerciaux n'est pas précisé ni leurs teneurs en matières actives. Ces informations ont pu être complétées avec les auteurs ou le service locale de protection des végétaux (communications personnelles) ou, dans le cas d'un produit, parce qu'il existe une seule formulation commerciale facilement identifiable. Ces informations complétées par le nombre approximatif de cycles de production par an (Assogba-Komlan F., communication personnelle) permet d'estimer les quantités de matières actives épandues par an et par hectare. Malheureusement, l'enquête permet de connaître ces quantités pour un produit commercial (moyennes par produit lorsque celui-ci est signalé comme utilisé par les producteurs), mais pas le programme complet de protection, ne permettant pas de savoir si les producteurs d'une zone ont utilisés, plus d'un produit et lesquels.

Néanmoins, il en ressort que les quantités de matières actives épandues par an et par hectare sont très élevées ainsi que les EIQ correspondant à chaque formulation commerciale utilisée, sachant qu'il s'agit de moyennes par produit, de fongicides et d'insecticides, et qu'un producteur utilisera au moins deux de ces produits durant un cycle de production, devant protéger ses cultures contre les maladies cryptogamiques et contre les ravageurs (ces deux catégories de problèmes phytosanitaires affectant fortement la production de morelle. Les quantités moyennes épandues par an et par hectare, en précisant l'EIQ correspondant sont repris dans le tableau 04, ci-après (page suivante).

Hormis le cas du Décis en zones intraurbaines et périurbaines et celui de l'Orthène en zone de décrue, l'EIQ correspondant à l'usage moyen de chacune des spécialités commerciales identifiées durant cette enquête considérées isolément (en excluant l'usage probable de plusieurs spécialités commerciales dans une même parcelle) dépasse largement l'EIQ correspondant à la protection phytosanitaire appliquée sur un hectare de coton durant toute une campagne au Bénin (ex : EIQ programme standard coton Nord Bénin 2005-2006 = 83.120, Guibert et Prudent, 2006). Par ailleurs, l'impact environnemental des fongicides (Topsin, Banko et Manèbe) (314.614 à 538.983) est nettement plus élevé que celui des insecticides (14.164 à 215.865).

Tableau 04 : Quantités moyennes de matières actives épandues par an et par hectare pour chaque spécialité commerciale utilisée sur *Solanum macrocarpum* (Assogba-Komlan, 2007) et EIQ correspondants.

(PC) Produit Commercial	Matière(s) Active(s) MA nom et g/ l ou Kg	g de MA /ha et / an moyenne	EIQ de la MA	EIQ par ha et par an	
Zone Cordon littoral					
Topsin-M 70 WP	Thiophanate-méthyl	700	16.067,1	22,42	360.224,4
Orthène 75 SP (?)	acéphate	750	9.225,0	23,40	215.865,0
Banko plus	carbendazime	100	1.947,8	56,17	538.983,2
	chlorothalonil	550	10.712,6	40,10	
Zones de Décru					
Cotalm D 315 EC	lambdacyhalothrine	15	107,3	43,50	163.397,6
	diméthoate	300	2.145,0	74,00	
Dursban 4 EC	chlорpyrifos-éthyl	480	2.880,0	43,52	125.337,6
Orthène	acéphate	750	3.000,0	23,40	70.200,0
Zones intraurbaines et périurbaines					
Manèbe 80 WP	manèbe	800	14.701,7	21,40	314.616,4
Décis 12,5 (?)	deltaméthrine	12,5	551,3	25,70	14.168,4

Les concentrations en organochlorés trouvées dans les feuilles de *S. macrocarpum* (moyenne de dix échantillons) et dans un échantillon composite de sol sont présentées dans l'annexe 11. Sur les légumes se sont la dieldrine, les DDTs, l'endrine, l'aldrine et l'heptachlore dont les concentrations observées dépassent les limites du Codex Alimentarius. La situation est très similaire à celle observée à Houéyiho. Dans le cas des sols, les concentrations en organochlorés sont nettement plus élevées que celles observées à Houéyiho, en particulier pour les DDTs, l'endrine et le dieldrine. On retrouve de l'endosulfan à un niveau environ 9 fois supérieur à celui d'Houéyiho, alors que ce produit n'est pas cité dans l'enquête.

2.2.1.2.3. Observations réalisées en milieu maraîcher dans le cadre du projet lagune.

Dans le cadre du projet "lagune" financé au Bénin par la coopération française, deux formations sur les pratiques phytosanitaires en maraîchage ont été organisées pour les groupements de producteurs du littoral, une à Ouidah (06/10/2006), l'autre à Grand-Popo (13/10/2006).

Les producteurs de Grand-Popo déclarent utiliser une grande variété de produits phytosanitaires, mais aucun n'est en mesure de préciser exactement le nom commercial des produits ni leur composition. Ils se réfèrent soit à un nom commercial incomplet (à une exception près), soit directement à une matière active, soit à une société ou une origine. Les produits nommés lors de cette formation peuvent être classés en quatre groupes comme suit (le nom donné par les producteurs apparaît en caractères gras) :

℄ nom commercial complet connu :

< **Gazelle 200 SL** : acétamipride 200 g/l

℄ nom commercial incomplet mais formulations exactement identifiées par la suite :

< **Callifol** (480 EC) : dicofol 480 g/l
< **Dursban** (E EC) : chlorpyrifos-éthyl 480 g/l
< **Orthene** (75 SP) : acephate 750 g/Kg
< **Laser** (480 SC) : spinosad 480 g/l
< **Phaser** (350 EC) : endosulfan 350 g/l
< **Topsin-M** (70 PM) : tiophanate-méthyl 700 g/Kg
< **Rambo** : permethrine 60 g/Kg

℄ nom commercial incomplet dont seule la matière active a pu être identifiée :

< **Cydim Super** : teflubenzuron
< **Cypercal** : cyperméthrine (+ éventuellement une autre MA)
< **Décis** : deltaméthrine
< **Dithane** : mancozèbe
< **Karateka** (Karate) : lambdacyhalothrine

℄ nom commercial incomplet dont la matière active n'a pu être identifiée :

< **Aquito**
< **Cerox** ou **cirox** (selon les producteurs)
< **Goldazine**
< **Harvest More**
< **Penathron**

< **Sun Shell**

℄ référence à une matière active :

< **dieldrine**
< **endosulfan**
< **fenpropathrine**

℄ référence à une origine :

< **Agrichem**
< **Produits chinois**

La plupart des produits commerciaux ou matières actives citées ne sont pas homologués au Bénin sur maraîchage, voire ne sont pas signalés comme commercialisés dans ce pays. Les producteurs ne peuvent pas exprimer les dosages utilisés pour ces produits. Cependant, pour la première fois l'utilisation d'un organochloré interdit, la dieldrine, est formellement déclarée.

Ont été par ailleurs observés dans un des dépôts des groupements de deux producteurs, les produit suivants :

Δ Delta plus (Razer) 1,25 EC	: deltaméthrine	12,5 g/l	Wuxi Razer Chine
Δ Milcozebe 80 %	: mancozebe	800 g/Kg	Sicrep SARL Togo

2.2.1.3. Les pesticides utilisés en production maraîchère au Togo (PAN Togo, 2005).

L'organisation PAN (Pesticide Action Network) du Togo a publié en 2005 (PAN Togo, 2005) le rapport d'une étude sur l'inventaire des POPs dans les circuits formels et informels au Togo.

Cette étude a été établie au moyen d'une enquête auprès de 217 producteurs quels sont les produits phytosanitaires les plus utilisés en cultures maraîchères. Les résultats détaillés de cette enquête sont présentés dans l'annexe 12. Celle-ci ne permet pas de connaître les quantités épandues, mais au moins la diversité des matières actives utilisées. Comme lors des formations prodiguées au Bénin, les noms recensés (produits commerciaux ou matières actives) sont peu précis et dans plusieurs cas, un même nom commercial incomplet peut correspondre à plusieurs compositions en termes de matières actives (Cypercil ?, Némacur ?, Conquest ?,...). Cependant, cette liste illustre bien la diversité des matières actives utilisées, ainsi que la forte toxicité de certaines d'entre elles, jusqu'alors non observées au Burkina Faso ou au Bénin, comme le cadusafos et le phenamiphos. Elle confirme que le DDT était encore utilisé en cultures maraîchères au Togo à cette époque (65 % de producteurs selon le calcul réalisé dans l'annexe 12, 18 % selon le texte de cette étude), donc la disponibilité de ce produit dans la région.

Par ailleurs, elle mentionne l'utilisation d'un produit dénommé XYLOGIL utilisé pour la protection du bois d'œuvre, contenant un mélange de lindane et d'aldrine, sans indications sur sa composition exacte (teneurs en MA).

Enfin, les résultats d'analyses de résidus portant sur des graines de semences vivrières (niébé, maïs, petit mil, sorgho) destinées à la consommation (voir annexe 13) indiquent la présence d'insecticides organochlorés à une concentration atteignant ou dépassant fréquemment la LMR.

2.2.1.4. Les pratiques phytosanitaires en cultures maraîchères en Afrique de l'Ouest (Rosendahl et al. 2008).

Réalisée par le programme SPIPM, programme inter-institutionnel du CGIAR et représenté au Bénin par l'IITA, une étude récente (Rosendahl et al., 2008) a fait l'état des lieux des pratiques phytosanitaires en maraîchage dans les pays suivants d'Afrique de l'Ouest : Bénin, Ghana, Mali, Niger, Nigeria et Togo (portant sur 20 à 60 producteurs maraîchers par pays).

Les produits phytosanitaires identifiés lors de cette étude sont présentés dans l'annexe 14. Vingt-sept (27) matières actives ont été identifiées et leur utilisation est répertoriée par pays et par légume. Elle est beaucoup plus exhaustive que celle des études précédemment évoquées, mais certaines matières actives mentionnées dans ces dernières n'apparaissent pas dans cette liste, qui confirme cependant l'utilisation actuelle de deux organochlorés interdits, le DDT et l'endrine, ainsi que de matière active fortement toxique comme le cadusafos, le carbofuran, les fenamiphos et le methamidophos.

Les matières actives les plus utilisées sont :

- C Bénin : bifenthrine et endosulfan
- C Ghana : teflubenzuron, chlorpyrifos-éthyl et méthamidophos
- C Malin : deltaméthrine
- C Niger et Nigeria : methamidophos

Les quantités de matières actives épandues ne sont pas précisées, cependant il est fait état du nombre d'applications par cycle de production et par légumes dans le cas du Bénin (voir annexe 15). Ce nombre varie entre 1 et 18 par cycle selon les cultures, soit en tenant compte de la durée de leur cycle de production, entre 0,13 et 1,80 par semaine.

Cette étude aborde aussi le problème du temps de disparition de certaines de ces matières actives dans les sols après leur application, en étudiant différents modèles mathématiques d'ajustement, dans le cas d'un sol de la zone maraîchère de Houéyiho (arénosol) et sur la station de l'IITA (acrisol). *Solanum macrocarpum* est l'espèce retenue pour l'étude de la demi-vie sur légumes feuilles. L'ensemble des résultats sont présentés dans l'annexe 16.

Les principaux points mis en évidence par cette étude peuvent être résumés comme suit :

- C la bifenthrine a la demi-vie DT_{50} la plus longue, entre 36,1 et 41 jours
- C la DT_{50} de la deltaméthrine varie entre 5,8 et 14,5 jours
- C la DT_{50} du diazinon est brève, entre 2,7 et 5,5 jours
- C la DT_{50} du beta-endosulfan et de l'endosulfan-sulfate n'a pu être étudiée dans les arénosols dès le début de l'expérience, car la concentration initiale de ce produit dans la parcelle étudiée était trop élevée et hétérogène dans l'espace
- C la DT_{50} de l'endosulfan-beta dans le cas de l'acrisol varie entre 10,5 et 22 jours
- C la DT_{50} du total (alpha-endosulfan + beta-endosulfan + endosulfan-sulfate) dans l'acrisol varie entre 8,5 et 17 jours
- C la disparition des matières actives étudiées est toujours plus rapide dans l'acrisol que dans l'arénosol.

Les auteurs soulignent un point particulièrement important ressortant de cette étude : **la vitesse de dissipation de ces produits y apparaît globalement 6 à 10 fois plus rapide que celle qui est connue pour les climats tempérés** (seulement 3 fois pour la bifenthrine dans l'acrisol et l'arénisol, ainsi que pour le diazinon dans l'acrisol).

Sur les plantes, la DT_{50} de la deltaméthrine est la plus élevée avec une valeur de 86,6 heures, celle de la somme des alpha et beta endosulfan et relativement courte avec 2,3 heures. Comme dans le cas des sols, les vitesses de disparition sont observées sont plus rapide qu'en climat tempéré.

Enfin, dans le cas de l'arénosol et à la fin de cette étude, l'endosulfan-sulfate et le beta-endosulfan ne sont pratiquement présents que dans les strates correspondant à 8-15 et 15-25 cm de profondeur (leur concentration se réduit à des traces dans la strate de 25-45 cm). La deltaméthrine n'est présente que dans la strate de 35-45 cm. Aucune présence n'est décelée au delà de 45 cm. Au même moment, l'alpha-endosulfan, la bifenthrine et le diazinon ne sont plus

déTECTABLES dans aucune des strates de profondeur étudiées (de 8 à 55 cm). Les auteurs concluent que les risques de migration par lessivage sont pratiquement inexistantes.

2.2.1.5. L'EIQ et l'IPEST en cultures de tomates en Europe (Bues & al., 2004).

Un des objectifs du projet QUALITOM financé par l'Union Européenne dans le sud de l'Europe était la mise au point et l'évaluation aux champs d'un ensemble de règles de décisions pour la protection phytosanitaire des cultures de tomates.

Dix sites ont été suivis, 9 en zone continentale depuis le Portugal (le plus à l'ouest) jusqu'en Grèce (le plus à l'est), plus 1 sur l'île de la Réunion. L'usage de produits phytosanitaires très divers a été observé lors de ce suivi (mais les produits ne sont pas identifiés). Le nombre d'applications peut aller jusqu'à 54, 32 et 39 par an, respectivement pour les années 1997, 1998, 1999.

Cette étude évalue l'impact environnemental des programmes de protection phytosanitaire des cultures de tomates sur ces dix sites et durant les trois années de suivi, en utilisant l'EIQ (déjà développé dans le premier rapport de 2006 (Guibert et Prudent, 2006)) mais aussi l'IPEST (Van der Werf & Zimmer, 1998 ; Girardin et al., 1999 ; Roussel et al., 2000).

Les résultats sont présentés sous forme de figures et non de tableaux permettant d'avoir des valeurs exactes. De plus, les quantités de matières actives épandues par hectare sont exprimées en Kg pour le calcul des EIQs correspondants, et non en gramme comme dans ce rapport et le précédent (Guibert et Prudent, 2006). Aussi faut-il les multiplier par 1000 pour pouvoir les comparer à celles de ces rapports.

Les EIQs totaux (toutes matières actives cumulées appliquées en un an) calculés pour les 30 cas observés (10 localités x 3 ans de suivi, 1997, 1998 et 1999) se répartissent comme suit :

C EIQ entre 0 et 250.000	: 7 = 23,3 % des cas
C EIQ entre 250.000 et 500.000	: 10 = 33,3 % des cas
C EIQ entre 500.000 et 1.000.000	: 8 = 26,7 % des cas
C EIQ entre 1.000.000 et 1.500.000	: 2 = 6,7 % des cas
C EIQ entre 1.500.000 et 2.000.000	: 3 = 10,0 % des cas (île de la Réunion, uniquement)

L'EIQ des pratiques phytosanitaires en culture de tomate dans le sud de l'Europe et à l'île de la Réunion sont donc beaucoup plus élevés que ceux observés sur coton ou même en culture maraîchère en Afrique de l'Ouest. Cette information permet de relativiser l'impact des pratiques agricoles en Afrique, même si celui-ci reste préoccupant.

Dans 24 cas (80 %), l'EIQ correspondant aux fongicides est le plus élevé (dépassant celui de herbicides ou des insecticides), pouvant parfois représenter à lui seul la quasi totalité de l'EIQ total des trois groupes de produits. Il y a par contre peu de différences entre les EIQs observés pour les insecticides et ceux des herbicides.

La corrélation entre l'EIQ et l'IPEST est faible. Ce dernier fait intervenir quatre indices dans

le calcul de l'indice final et l'importance des quantités épandues (masse de MA / ha) y joue un rôle moins important que dans le cas de l'EIQ :

- C indice a : impact sur l'eau s'infiltrant dans les couches profondes du sol
- C indice b : impact sur l'eau de ruissellement
- C indice c : impact sur la contamination de l'aire
- C indice d : la quantité de matière active utilisée.

Les premiers facteurs peuvent jouer un rôle très important dans la valeur finale obtenue pour l'IPEST total, comme dans le cas de l'étude portant sur l'estimation de l'IPEST de cultures de soja. Cette étude comparant l'IPEST d'itinéraires techniques variés sur des cultures de soja transgéniques ou non, dans le cas de deux parcelles présentant des risques différents pour l'environnement (cas 1 : risques de ruissellement, de lessivage et de dérive élevés ; cas 2 : risques faibles), indique qu'il y a une différence au niveau de l'IPEST entre la culture classique et la culture transgénique, mais que les différences observées pour cet indice entre les deux parcelles sont beaucoup plus élevées (tous itinéraires confondus) que celle observées entre itinéraires techniques sur une même parcelle (Girardin et al., 1998)

Dans le cas de l'étude sur la culture de tomate, l'utilisation conjointe de ces deux indices (EIQ et IPEST) permet, malgré leur faible corrélation, de déterminer des groupes assez homogènes quand aux risques encourus à cause des pratiques phytosanitaires. Il serait donc important, dans le futur, d'ajouter à l'emploi de l'EIQ utilisé comme outil d'évaluation de l'impact des pratiques phytosanitaires dans ce rapport et le précédent, l'emploi d'un second indice comme l'IPEST en particulier pour son usage apparemment devenu fréquent. La référence de l'article détaillant la méthode de calcul de cet indice d'impact a déjà été citée (Van der Werf & Zimmer, 1998), mais une présentation simplifiée est accessible dans l'article de Bockstaller et al. (1997).

2.2.2. La contamination de la rivière Ouémé par les organochlorés (Pazou et al., 2006a et 2006b).

Ces deux publications traitent de la contamination par des insecticides organochlorés des sédiments et des poissons collectés tout au long du cours de cette rivière et de ses principaux affluents. La cartographie de ces études est présentée dans l'annexe 17. Les points d'échantillonnage sont les suivants :

C Tanéka-Koko	:	N 09°52'	E 001° 30'	2 points d'échantillonnage
C Donga	:	N 09°45'	E 001°41'	2 points d'échantillonnage
C Bétérou	:	N 09°12'	E 002°16'	4 points d'échantillonnage
C Kpassa	:	N 09°17'	E 002°43'	4 points d'échantillonnage
C Atachakpa-Béri	:	N 08°00'	E 002°22'	6 points d'échantillonnage
C Toué	:	N 07°12'	E 002°16'	5 points d'échantillonnage
C Bonou	:	N 06°55'	E 002°25'	5 points d'échantillonnage
C Lowé	:	N 06°39'	E 002°28'	4 points d'échantillonnage
C Houédo	:	N 06°30'	E 002°23'	5 points d'échantillonnage

Bien que ne correspondant pas exactement à la zone sud de la périphérie du Parc W, la zone à l'extrême nord de cette étude en est proche, et les pratiques culturales qui y sont pratiquées, ainsi que l'état de contamination des eaux, ne doivent pas être très différentes d'une zone à l'autre.

2.2.2.1. La contamination des sédiments (Pazou et al., 2006b).

Les concentrations en organochlorés observées lors de cette étude sont présentées dans l'annexe 18. Il en ressort essentiellement les points suivants :

- C Les échantillons prélevés sont le plus fréquemment contaminés par du DDT (91,9 % des cas), les isomères ou produits de dégradation les plus souvent rencontrés étant le pp'-DDE (86,3 % des cas), le pp'-DDD (83,8 % des cas), le pp'-DDT (78,4 % des cas) et l'op'-DDD (70,3 % des cas), alors que ce produit n'est plus signalé comme utilisé au Bénin (seulement identifiés comme encore utilisé au Togo [annexe 12 et annexe 14] et au Ghana [annexe 14]). Ces résidus peuvent être considérés dans le cas du Bénin comme le résultat de la contamination historique évoquée dans le premier rapport (Guibert et Prudent, 2006). Les concentrations observées restent dans l'ordre de grandeur des diverses valeurs présentées dans ce rapport, voir faibles par rapport à un critère aussi important que la concentration dans le lait humain.
- C alors que l'endosulfan continue d'être massivement utilisé au Bénin depuis 1999, les concentrations observées dans ces sédiments restent relativement faibles (21,9 µg/Kg contre 110,8 pour le GDDT, dans le cas de la moyenne des échantillons où ces MA sont détectables). Seulement 37,8 % des échantillons sont contaminés (avec une concentration supérieure au seuil de détection). Malheureusement les concentrations en endosulfan-sulfate ne sont pas précisées, bien que ce produit de dégradation de l'endosulfan soit mentionné dans le texte.
- C La fréquence de contamination par les isomères de l'HCH (62,2 % des cas atteignant le seuil de détection) est plus élevée que celle de l'endosulfan. Or cette matière active n'est pas utilisée en culture cotonnière au Bénin, a une demi-vie relativement brève, mais, bien que cet usage ne soit pas signalé au Bénin, est largement utilisée dans toute la région en maraîchage et pour le traitement des semences de cultures vivrières diverses (arachides, maïs, niébé, sorgho,...).

Les auteurs ont comparés les concentrations observées dans les sites les plus contaminés à trois valeurs de référence pour la contamination des sédiments : le MPC (Maximum Permissible Concentration) utilisé aux Pays Bas (Verbruggen et al., 2001), l'ISQG (Canadian Interim Sediment Quality Guidelines) et le PEL (Probable Effect Level) utilisés au Canada (CCME, 2003), ces valeurs sont présentées dans le tableau 05, ci-après (page suivante). Il n'a pas été possible d'avoir accès au second document (CCME, 2003). Par contre, le rapport N° 711701020 de Verbruggen et al. (2001) a été obtenu et les valeurs du MPC dans les sédiments est présenté dans le tableau 06, ci-après (page suivante). Les valeurs proposées dans ce rapport pour le MPC des produits sont exprimées en mg/Kg de sédiment. Leur conversion en µg/Kg (unité utilisée par Pazou et al., 2006b) ne correspond pas aux valeurs présentées par ces auteurs. La référence à une concentration par Kg de MO par Pazou et al. (2006b) et à une concentration par Kg de sédiment par Verbruggen et al. (2001), ne suffit pas expliquer cette différence systématique d'un facteur 10 entre les valeurs présentées dans les deux documents, la concentration en MO ne pouvant être

constante dans les sédiments de l'Ouémé. Par ailleurs, malgré une recherche exhaustive dans tout le rapport de Verbruggen et al. (2001), l'endosulfan n'est pas mentionné une seule fois dans celui-ci.

Tableau 05 : Pourcentage d'échantillons contaminés et sites présentant les plus fortes concentrations de pesticides, et comparaison aux standards suivants : MPC, ISQG et PEL.

Produits	% EDLD ⁽⁴⁾	Co		Standards (µg/Kg de MO)		
				MPC ⁽⁵⁾	ISQG ⁽⁶⁾	PEL ⁽⁷⁾
pp'-DDE	86	70	Donga	58	90	427
		109	Bétérou			
		131	Kpassa			
		68	Lowé			
GDDD	86	64	Donga	39	224	539
		403	Bétérou			
		61	Kpassa			
		242	Lowé			
GDDT ⁽¹⁾	86	297	Bétérou	98	75	302
		196	Lowé			
		526	Houédo			
Gendo	48	53	Bétérou	1	-	-
		164	Atcha-Béri			
GHCH	62	42	Bonou	540	59 ⁽²⁾	87 ⁽²⁾
		61	Bétérou			
Gdrin	49	32	Bonou	68	180 ⁽³⁾	422 ⁽³⁾
		39	Lowé			

N.B. : ⁽¹⁾ GDDT = op'-DDT + pp'-DDT seulement (sans inclure les DDDet DDE) ; ⁽²⁾ = valeur correspondant au seul gamma-HCH ; ⁽³⁾ = valeur correspondant à la seule dieldrine ; ⁽⁴⁾ %EDLD = pourcentage d'échantillons dépassant la limite de détection ; ⁽⁵⁾ MPC = Maximum Permissible Concentration ; ⁽⁶⁾ ISQG= limite de tolérance du Canadian Interim Sediment Quality Guidelines ; ⁽⁷⁾ PEL = Probable Effect Level ;

Tableau 06 : Nouvelles valeurs du MPC de quelques organochlorés proposées dans le rapport N° 711701020 du RIVM (tables 3.17. et 4.2.) (Verbruggen et al., 2001).

Produit	MPC pour les sédiments		Produit	MPC pour les sédiments	
	mg/Kg ⁽¹⁾	µg/Kg ⁽²⁾		mg/Kg ⁽¹⁾	µg/Kg ⁽²⁾
DDT	0,0098	9,8	endrine	0,0026	2,6
DDE	0,0058	5,8	a-HCH	0,3100	310,0
DDD	0,0039	3,9	β-HCH	0,0110	11,0
aldrine	0,0092	9,2	g-HCH	0,0440	44,0
dieldrine	0,0010	1,0	Cumul des HCH	0,0540	54,0

N.B. : ⁽¹⁾ = unité utilisée dans le rapport N° 711701020 ; ⁽²⁾ = équivalent en µg/Kg, unité utilisée par Pazo et al, 2006b.

Il n'est donc pas possible de conclure sur la situation de la pollution des sédiments de l'Ouémé par l'endosulfan par rapport à ces trois standards. Par contre, les concentrations des organochlorés sensu stricto dans les sédiments de l'Ouémé présentées par Pazo et al. (2006b) seraient très largement au delà de valeurs critiques utilisées aux Pays Bas (valeurs rectifiées dans le tableau 06).

Par ailleurs les points importants rapportés dans cette étude sont :

- C hormis le cas de Tanéka-Koko, la présence de plus de 20 matières actives a été décelée dans tous les sites de cette étude,
- C parmi les substances détectées, mais dont le dosage exact n'est pas précisé dans les divers tableaux contenus dans cette publication, sont aussi cités : l'aldrine, la dieldrine, l'isodrine, le telodrine, les cis et trans heptachlorepoxyde, l'hexachlorobenzène, l'octachlorostyrène, le chlpropyrifos, l'endosulfan-sulfate, le benzylbutylphthalate (malheureusement aucune liste exhaustive n'est présentée)
- C le DDT actuellement interdit a été largement utilisé pour divers usages, comme la lutte contre les glossines (Dehoux, 1993)
- C l'introduction illégale de lindane et de dieldrine à partir du Nigéria est spécifiquement évoquée
- C le lavage de bouteilles vides directement dans les rivières y est référencé (Osibanjo et al., 1994)
- C les contaminations par l'hexachlorobutadiène, produit qui n'est pas utilisé en agriculture, sont attribuées à un transport atmosphérique à partir d'autres zones de la région (ce qui conforte l'hypothèse de cette voie de transport déjà évoquée pour certains organochlorés dans le rapport de la mission de 2005 (Guibert et Prudent, 2006))
- C la corrélation des concentrations observées avec la nature des cultures rencontrées à proximité de l'Ouémé a été réalisée au moyen d'une analyse en composantes principales. Deux axes principaux ont été identifiés, le premier expliquant 46 % de la variation observée est fortement déterminé par le DDT et ses métabolites, le second (16 % de la variation) étant déterminé par l'HCH et l'endosulfan. La concentration en DDT serait liée à la présence de cultures de maïs, celle en endosulfan et en HCH avec la présence de cultures de coton. Si la relation coton-endosulfan paraît évidente (généralisation des premiers traitements sur la culture cotonnière avec de l'endosulfan depuis 1999), celle de la culture du maïs avec les concentrations observées en DDT (et l'ensemble de ses isomères ou métabolites) est difficilement justifiable (cette culture emploie peu de produits phytosanitaires, à l'exception d'herbicides).
- C dans la zone de Tanéka-Koko où pratiquement aucun résidu n'est détecté dans les sédiments, quelques traces de pp'-DDT ont été décelées dans les sols des collines environnantes, alors qu'aucune activité agricole n'y est pratiquée (ce qui confirme le rôle que peut avoir une contamination historique dans tous les résultats concernant les organochlorés). Il est d'ailleurs fait référence dans ce cas aux campagnes de lutte contre les glossines et les moustiques conduites par le passé par les services de santé publique.
- C les fortes concentrations en a-endosulfan observées à Atchakpa-Béri sont attribuées à une probable dérive aérienne lors des traitements
- C à Toué, les producteurs déclarent utiliser des produits phytosanitaires divers dans les vergers d'agrumes, en maraîchage et en cultures céréalières. Dans cette localité, les produits phytosanitaires (ainsi que des extraits de plantes toxiques) sont utilisés pour la pêche.

2.2.2.2. La contamination des poissons (Pazou et al., 2006a).

Les résultats de cette étude sont présentés dans l'annexe 19. Comme dans le cas de l'étude portant sur les sédiments, toutes les matières actives ne figurent pas dans ce tableau. Ont aussi été détectés de l'octachlorostyrène dans un poisson à Kpassa (9 ng/g), du lindane (gamma-HCH) dans deux poissons à Toué (3 et 65 ng/g), ainsi que de la telodrine dans deux poissons (1 à Atchakpa-Béri et 1 à Lowé) (4,1 et 6,9 ng/g).

Tous les échantillons contenaient du DDT (ou un de ses isomères ou métabolites). Un même poisson peut révéler la présence de 1 à 7 substances toxiques. Néanmoins, les concentrations observées ne sont pas particulièrement excessives par rapport à ce qui est rapporté dans d'autres pays (Guibert et Prudent, 2006). Les auteurs concluent d'ailleurs que les concentrations observées ne présentent pas un risque sanitaire pour les populations riveraines consommatrices de poissons.

2.2.3. La qualité des sols et les paramètres influençant celle-ci et son évolution, revue bibliographique.

Le sol est un élément essentiel à prendre en considération pour l'évaluation de l'état "sanitaire" de l'environnement et l'élaboration d'interventions permettant d'améliorer celui-ci, ainsi que pour mesurer l'effet de ces dernières. Une revue bibliographique reposant sur quelques documents essentiels a donc été réalisée. Une analyse résumée mais exhaustive (reproduction quasi intégrale de certains textes) de ces documents est présentée ci-après, avec pour objectif de fournir des éléments de travail et une bibliographie pouvant s'avérer nécessaires à la mise au point de protocoles expérimentaux performants (restant à élaborer à partir des propositions de ce rapport si un projet permet leur mise en oeuvre).

2.2.3.1. La qualité biologique des sols (Chaussod, 1996).

Chaussod (1996) fait une analyse assez exhaustive de la qualité des sols, principalement du point de vue microbiologique, et en abordant successivement quatre aspects de ce sujet : la notion ou définition de la qualité des sols, les indicateurs permettant de mesurer cette qualité, les facteurs l'influençant, l'évolution actuelle de cette qualité. Ce paragraphe résume l'essentiel des considérations abordées dans cette publication pour leur pertinence avec le sujet traité dans ce rapport.

2.2.3.1.1. La notion de qualité des sols.

Selon Chaussod (1996), et en se limitant aux sols agricoles, quatre composantes concourent à la définition de la qualité des sols :

- ⊆ la fertilité : c'est à dire les potentialités agronomiques directement liées à l'activité biologique
- ⊆ l'état sanitaire : (sensu lato), faisant référence à la présence ou non d'organismes vivants indésirables, considérés comme des ennemis des cultures
- ⊆ les externalités : c'est à dire l'impact environnemental du fonctionnement du sol
- ⊆ la résilience : ou sensibilité à des contraintes extérieures, principalement d'origine anthropique, et l'aptitude au retour à l'état initial.

La définition de la qualité biologique ne donne pas lieu à un consensus, les outils de mesure des grandeurs biologiques ne sont pas standardisés et l'interprétation de ces mesures manque de références (Chaussod, 1996).

L'appréciation de la qualité biologique des sols et de son évolution, sous l'effet de changements globaux ou d'actions humaines directes, exige de mettre en place une démarche scientifique rigoureuse s'appuyant sur trois points complémentaires (Chaussod, 1996) :

- C la définition claire de qualité biologique d'un sol
- C la définition d'indicateurs pertinents et la mise au point de techniques fiables de quantification, ce qui suppose un investissement méthodologique approprié
- C l'acquisition de données, dans des situations pédoclimatiques et agronomiques variées, permettant d'analyser l'influence respective des différents facteurs anthropiques et environnementaux.

La qualité biologique des sols peut difficilement être abordée indépendamment des autres facteurs qui agissent, non pas de façon additive mais interactive, ce sont les composantes physiques (texture, structure,...), chimiques (pH, teneur en composés minéraux, en matière organique,...) et biologiques (jusqu'alors mal définie) (Chaussod, 1996).

Le niveau de qualité d'un sol peut évoluer sous l'influence des systèmes de culture ou des pratiques culturales (Boiffin et Monnier, 1989), mais aussi des modifications de l'environnement non directement liées à ces pratiques (réchauffement global, pluies acides) (Chaussod, 1996).

La production d'éléments nutritifs et de facteurs de croissance par l'activité des microorganismes recouvre les processus de minéralisation et de transformation de la matière organique, elle concerne essentiellement la fourniture d'azote minéral, de soufre et de phosphore assimilable par les plantes (Chaussod, 1996).

La fixation symbiotique de l'azote peut atteindre plusieurs Kg/ha, mais elle est liée à un type particulier de culture, les légumineuses (Chaussod, 1996), étant dans ce cas essentiellement liée à l'abondance et à l'efficacité des souches de *Rhizobium* présentes dans les sols (Amarger, 1980).

L'identification des variables à mesurer et des méthodes de mesure à mettre au point ne suffit pas, l'acquisition de nombreuses références et l'établissement de normes d'interprétation sont nécessaires (Chaussod, 1996).

Le caractère opérationnel en matière de gestion des sols nécessite impérativement un développement des recherches sur la biologie et l'écologie des sols (Trehen et al., 1993).

Parmi les éléments de la microflore du sol, les mycorhizes peuvent jouer un rôle important pour l'alimentation des végétaux, plus spécialement dans le cas des éléments peu mobiles tels que le phosphore ou les oligoéléments et particulièrement dans le cas des sols pauvres ou affectés par la sécheresse (Nouaïm et Chaussod, 1996).

Dans le cas des ravageurs du sol (insectes, limaces), l'importance de leurs dégâts relève plus de l'interaction entre le climat, l'espèce considérée et le stade cultural, que d'une infestation permanente des sols (Maurin et Lavanceau, 1988).

L'aptitude des sols à dégrader les résidus de pesticides est déterminante dans le cas de la contamination des eaux superficielles ou souterraines (Fournier, 1992).

Les impacts environnementaux dépendent particulièrement du fonctionnement des couches profondes du sol (dénitrification, biodégradation des pesticides) (Chaussod, 1996).

Dans le cas des pesticides, la restauration de l'état initial du sol (résilience) sera plus ou moins rapide selon les produits mais aussi les types de sols (Domsch et al., 1983).

Waid (1984) a identifié pas moins de vingt processus chimiques et biochimiques susceptibles d'affecter la fertilité des sols, parmi lesquels la formation et le renouvellement de la biomasse, l'activité hétérotrophe de la biomasse, la décomposition des résidus (y compris les xénobiotiques), la nitrification, la dénitrification, la fixation d'azote, les associations (symbiotiques ou non) entre les micro-organismes et les racines des plantes,.....

Les tableaux 07 et 08 reproduits de Chaussod (1996) donnent quelques ordres de grandeur en ce qui concerne l'abondance des organismes vivants dans le sol, ces valeurs pouvant varier grandement selon le type pédologique, le climat, l'utilisation du sol, la végétation, l'altitude,.....

Tableau 07 : Principaux organismes macroscopiques du sol.

Type d'organismes	Nombre par m ²
semences de mauvaises herbes	10 ³ à 10 ⁴
lombriciens	10 ¹ à 10 ³
mollusques	10 ² à 10 ³
enchytreides	10 ² à 10 ⁵
arthropodes > 1 mm	10 ² à 10 ³
arthropodes < 1 mm	10 ³ à 10 ⁴
nématodes	10 ⁶ à 10 ⁸

Tableau 08 : Principaux organismes microscopiques du sol.

Type d'organismes	Nombre par gramme de sol
protozoaires	10 ³ à 10 ⁵
algues	10 ² à 10 ⁴
bactéries	10 ⁸ à 10 ⁹
champignons	10 ⁴ à 10 ⁶

2.2.3.1.2. Les bioindicateurs, leurs qualités et leur pertinence.

Chaussod (1996) développe longuement les caractéristiques que doivent présenter les bioindicateurs et établit une revue des principaux groupes de ceux-ci.

C Leurs qualités

Les indicateurs biologiques doivent permettre de déceler de façon précoce l'évolution de la qualité des sols, avant que celle-ci ne se traduise par des effets agronomiques sensibles, jouant alors le rôle de système d'alarme (Chaussod, 1996).

Pour une approche écologique globale, Chaussod recommande de se reporter au travail de Blandin (1986), et dans le cas des agrosystèmes rappelle les principaux critères souhaitables que doit présenter un bioindicateur :

- < La pertinence ou cohérence avec le problème étudié : Un test écotoxicologique et l'évaluation d'un système de culture n'utiliseront pas les mêmes bioindicateurs. Le tableau 09, d'après Domsch (1985) et reproduit de Chaussod (1996) classe par ordre décroissant de sensibilité (donc de pertinence) divers indicateurs utilisables pour évaluer l'impact de traitements fongicides sur la microflore des sols.

Tableau 09 : Sensibilité relative de quelques indicateurs biologiques utilisables pour évaluer les effets secondaires de fongicides (d'après Domsch, 1985).

Indice de sensibilité	Indicateur biologique
4,8	Ectomycorhizes
3,5	Endomycorhizes
2,5	Champignons (nombre de propagules)
2,3	Bactéries fixatrices d'azote (libres)
2,2	Activité déshydrogénase
2,0	Actinomycètes (nombre de propagules)
1,9	Bactéries (nombre de propagules)
1,9	Nitrification
1,5	Activité uréase
1,4	Activité nitrogénase (réduction d'acétylène)
1,3	Dégagement de gaz carbonique <i>in situ</i>
1,0	Consommation d'oxygène <i>in situ</i>

- < L'aptitude à rendre compte d'évolutions présentant potentiellement un impact sur le fonctionnement du sol
- < Une sensibilité suffisante pour déceler rapidement des déséquilibres avant l'apparition d'effets irréversibles

- < Une robustesse suffisante pour ne pas être affecté par des variations naturelles à court terme (climat, végétation,...), soit permettre de distinguer ces fluctuations naturelles à court terme de l'évolution à long terme due aux facteurs étudiés
- < Sa variabilité spatiale liée à l'hétérogénéité des sols doit être connue pour pouvoir choisir une stratégie d'échantillonnage assurant la représentativité des mesures
- < La possibilité de réaliser sur celui-ci des mesures de routines, si possible de façon économique.

Les mesures peuvent porter soit sur des populations soit sur des fonctions causées par ces populations (comme dans le cas de l'exemple présenté ci-dessus pour l'impact des fongicides).

2.2.3.1.3. Revue de divers bioindicateurs.

Chaussod (1996) passe en revue les différents types de bioindicateurs pouvant être utilisés pour mesurer l'état de la fertilité d'un sol et l'impact des facteurs externes sur celui-ci. Il fait références aux groupes suivants :

C Les lombriciens

Ils participent à l'amélioration physique des sols (aération, infiltration de l'eau,...) grâce aux galeries qu'ils creusent (Binet et al., 1996). Ils présentent l'avantage de permettre diverses mesures : abondance (nombre d'individus par m²), biomasse (poids frais par m²), structure de la population (proportion de stades juvéniles), composition de la population (nombre d'espèces et leur importance relative).

Ils sont essentiellement des indicateurs des itinéraires techniques, en particulier de l'intensité du travail du sol, et des pesticides dans des sols où leur utilité est démontrée (Lavelle, 1993).

C L'activité enzymatique

Les enzymes dont l'activité peut être mesurée sont très nombreux (hydrolases, oxydo-réductases, transférases, lyases,...) (Dick et Tabatabai, 1992). Leur durée de vie et leur activité est fortement influencée par les caractéristiques physico-chimique des sols (quantité et nature des colloïdes minéraux ou organiques, pH, force ionique, présence de substances inhibitrices [orthophosphates, ions Cu⁺⁺] ou absence d'un substrat à décomposer,...). L'influence facteurs du milieu est telle qu'il n'y a généralement pas de relation entre l'activité enzymatique mesurée et l'abondance de la flore microbienne (Dick et Tabatabai, 1992). La mesure de l'activité d'une seule enzyme ne permet pas d'évaluer la fertilité d'un sol et la comparaison de sols ayant des caractéristiques physicochimiques différentes est hasardeuse.

C La biomasse microbienne

La biomasse microbienne totale (bactéries, champignons, protozoaires) peut facilement être tuée de façon quasi totale par fumigation et le carbone ainsi libéré mesuré aisément, cette méthode pouvant donner lieu à des mesures de routine (Wu et al., 1990) et permettant aussi

d'estimer le taux de renouvellement de cette biomasse (Chaussod et al, 1988). L'activité respiratoire de cette biomasse (flux C-CO₂) mesurée en conditions standards par unité de biomasse et unité de temps, appelée aussi "respiration spécifique" (Chaussod et al., 1986) ou "quotient métabolique" (Anderson, 1994) est un analogue du taux de renouvellement qui permet d'évaluer assez finement et de façon cohérente l'influence de facteurs tels que les pratiques culturales ou la pollution. C'est une des rares mesures fiables, praticables en routine, qui soit opérationnelle et permette de gérer les problèmes liés au statut organique du sol ou à certaines pollution. Elle peut être complétée par des mesures qualitatives sur la diversité des espèces la composant en étudiant sa capacité à métaboliser des substrats très variés (Garland et Mills, 1994) ou à effectuer des transformations enzymatiques diverses (Kandeler et al., 1996).

C Les populations microbiennes

C'est l'approche qualitative développée de la biomasse précédemment considérée.

La plus ancienne approche pour caractériser la fertilité des sols est certainement le dénombrement des micro-organismes présents dans celui-ci, mais rapidement le dénombrement de groupes dits "fonctionnels" ou "groupes physiologiques", capables d'exploiter un même substrat particulier ou d'effectuer une transformation donnée (protéolyse, amylolyse, nitrification, fixation de l'azote,...) est venu compléter l'approche indistincte (Pochon et Tardieux, 1962).

Actuellement, les méthodes d'études ciblent davantage des populations spécifiques dont on cherche à évaluer la diversité génotypique ou phénotypique.

Or jusqu'en 1993 (Trehen et al. 1993), on estimait que seulement 10 % des espèces de microorganismes du sol étaient connus et décrits, ne sachant ni isoler ni cultiver la majorité de ces espèces.

Avec les nouvelles techniques, l'étude de l'ADN des organismes microbiens directement extrait des sols devient possible, dans le cas des espèces viables mais non cultivables. L'analyse de la structure génétique des populations et de sa diversité ainsi que de leurs liens avec l'environnement permet de mieux comprendre le fonctionnement évolutif et adaptatif des populations microbiennes, donc d'évaluer la résilience de ces sols et les possibilités d'action.

L'évaluation des capacités évolutives et adaptatives des micro-organismes ainsi que leurs limites semble l'approche la plus pertinente. Trois exemples sont mentionnés par Chaussod (1996)

- < L'étude génotypique (chromosomique et plasmidique) d'une population de *Rhizobium leguminosarum* (bactérie symbiotique fixatrice d'azote) a révélé l'existence de transferts génétiques et de recombinaison entre membre de cette population provenant d'un même champ (Laguerre et al., 1993).
- < Dans un même sol, il a été possible de mettre en évidence différentes populations microbiennes capables de métaboliser l'herbicide 2,4-D (Soulas, 1993). L'analyse génétique de ces micro-organismes a montré qu'ils sont phylogénétiquement très divers et ont réussi à réunir de façons différentes un ensemble de gènes leur permettant de

dégrader cet herbicide (Vallaeys et al., 1996).

- < Les mycorhizes, groupe spécifique et relativement limité de micro-organismes, peuvent être écologiquement caractérisés selon trois critères complémentaires : l'abondance, la diversité et l'efficacité (Nouaïm, 1994). La conjonction de ces trois aspects est déterminante pour la conservation des sols, et à ce titre les mycorhizes représentent un indicateur pertinent de la qualité des sols, pour les composantes fertilité et résilience.

2.2.3.1.4. Les facteurs intervenant sur la qualité des sols.

La qualité des sols est essentiellement dépendante des facteurs pédoclimatiques et des pratiques agronomiques, l'homme pouvant intervenir indirectement en modifiant les caractéristiques physico-chimiques du sol (chaulage, drainage,...) ou plus directement par les pratiques culturales. Selon Chaussod (1996), les principaux facteurs agissant sur la qualité biologique des sols sont les suivantes :

C effet du type de sol et du climat

Les principaux paramètres des caractéristiques physico-chimiques des sols intervenant sur leur qualité biologique sont la texture, la structure, le pH et la teneur en matière organique. La quantité et la qualité minéralogique des argiles (fraction fine) intervient en jouant un rôle protecteur des micro-organismes, soit directement (Robert et Chenu, 1992) soit indirectement via le complexe argilo-humique (Chassin, 1993). L'importance de la biomasse microbienne et son taux de renouvellement sont influencés par la teneur en argile des sols (Sorensen, 1983 ; Chaussod et al., 1986).

La température moyenne annuelle est le facteur climatique essentiel. L'activité microbienne augmente de façon exponentielle avec la température, entraînant un accroissement de taux de renouvellement de la biomasse, dont la masse totale diminue. A quantités égales de carbone, la biomasse microbienne est en relation inverse avec la température, le rapport $C_{\text{biomasse}}/C_{\text{total}}$ diminuant d'autant (Insam et al., 1989). Ceci explique en grande partie la fragilité des sols tropicaux.

C importance du système de culture

Pour un type de sol et un climat donné, les entrées de carbone déterminent la biomasse microbienne, ce qui fait de celle-ci et des paramètres qui lui sont associés, un bon indicateur du statut organique des sols. Le taux de renouvellement de la biomasse microbienne étant mille fois plus rapide que celui du carbone total, le rapport $C_{\text{biomasse}}/C_{\text{total}}$ est un indicateur sensible et précoce des modifications entraînées par les pratiques culturales. Il révèle efficacement les variations dues aux systèmes culturels : monocultures, rotations céréalières, rotations variées (Anderson et Domsch, 1989), prairies versus cultures annuelles (Sparling, 1992). Les processus de minéralisation sont stimulés par le travail du sol (aération, déprotection de la matière organique), la réduction de ce travail s'accompagnant généralement d'un enrichissement de la couche superficielle (Friedel et al., 1996).

C Effet des pratiques culturales

Il s'agit ici de l'ensemble des opérations mises en oeuvre dans les champs : gestion organique, travail du sol, traitements phytosanitaires,.... Toute augmentation de la matière organique se traduira par une augmentation de la biomasse microbienne à laquelle elle sert de source d'énergie, que ce soit par des apports directs (restitution des résidus de récolte, apports exogènes) (Powlson et al. 1987) ou un accroissement indirect dû à la fertilisation (accroissement de la production végétale) (Schnürer et al., 1985 ; Houot et Chaussod, 1995).

C Possibilités d'intervention humaine directe sur les composantes biologiques de la fertilité des sols.

La gestion de la matière organique se limite au stockage et à l'apport d'éléments nutritifs, l'apport de matière organique pouvant favoriser l'apparition de maladies ou de ravageurs. Il est cependant possible d'agir directement sur les populations microbiennes du sol.

Le sol peut être inoculé avec des souches améliorées de *Rhizobium* dans le cas des cultures de légumineuses (Amarger, 1991), cette inoculation des sols devient obligatoire dans le cas de cultures exotiques comme le soja, son symbiote, *Bradyrhizobium*, n'existant pas naturellement en Europe (Catroux et al., 1996). Des essais d'inoculation avec des bactéries du genre *Azospirillum* ont donné des effets positifs dans 60 à 70 % des cas et un gain de rendement variant entre 5 et 30 % (Okon et al., 1994). L'utilisation de champignons ectomycorhiziens en sylviculture est déjà fréquente (Garbaye, 1991), celle de champignons endomycorhiziens plus compliquée et coûteuse restant limitée à des plants à haute valeur ajoutée (Jarstfer et Sylvia, 1992).

Enfin, il peut être nécessaire d'intervenir en cas d'infestation du sol par des pathogènes, des ravageurs ou des adventices. La lutte intégrée doit dans ce cas être préférée à la lutte chimique utilisée seule. Le choix de rotations et de pratiques culturales adaptées (Perrin 1996) ou l'usage d'amendements comme le chaulage (Rouxel et al., 1988) peuvent s'avérer très efficaces. Il est parfois par contre nécessaire d'associer plusieurs méthodes, comme l'utilisation de variétés résistantes, l'emploi de glyphosate et une date de semis appropriée, dans le cas de l'orobanche des fèves au Maroc (Zemrag, 1996).

2.2.3.1.5. L'évolution actuelle de la fertilité biologique des sols.

Chaussod (1996) considère trois niveaux d'actions anthropiques pouvant avoir des degrés d'impact divers sur la qualité biologique des sols :

- C les pratiques agricoles "normales" correspondant à des itinéraires techniques considérés (à tort ou à raison) comme compatibles avec la durabilité des systèmes de production
- C les pratiques plus "drastiques" liées à une forte intensification (travail du sol très vigoureux, irrigation, compactage par des engins lourds,...), risquant d'entraîner une dégradation physique des sols, d'où érosion, ou au minimum, baisse des teneurs en matière organique avec effets induits sur les activités biologiques
- C les pratiques, traditionnelles ou non, suspectées d'entraîner une dégradation chimique des sols par accumulation de micropolluants minéraux ou organiques, accompagnée ou non

d'une diminution des stocks organiques.

La diminution des teneurs en matière organique résultant de ces actions anthropiques peut avoir des causes diverses (labour trop profond, changement de systèmes de cultures,...) mais ne proviennent pas nécessairement d'une dégradation des propriétés physico-chimique des sols.

Un excès de phosphore influence surtout négativement la qualité des eaux superficielles, mais peut aussi provoquer un appauvrissement quantitatif et qualitatif des populations de champignons endomycorhiziens. Les effets biologiques des pesticides sont mal maîtrisés. Les contaminations par les métaux lourds apparaissent irréversibles. Les pertes d'éléments fertiles provoqués par l'exportation des récoltes ou le lessivage restent minimes, l'érosion particulaire étant à l'origine des pertes les plus importantes. Les dégradations physiques et chimiques sont fortement liées (Cheverry, 1994) et se traduisent par une perte d'efficacité des fonctions épuratrices du sol, d'où une altération de la composante "externalités". Le devenir des xénobiotiques et des "métaux lourds" reste le sujet le plus préoccupant. De façon générale, l'effet des éléments-traces métalliques sur les activités biologiques du sol reste mal documenté, notamment en ce qui concerne les effets à long terme après des apports modérés répétés.

Les impacts réels doivent être mesurés *in situ*, car les connaissances générales actuelles ne suffisent pas à prévoir l'évolution des caractéristiques à partir de relations dose/effet. Ceci signifie que la recherche et le dosage de résidus comme cela a été fait jusqu'à présent dans le cas des Parcs du W et de la Pendjari n'est pas suffisante, mais doivent être complétés par des mesures directes sur l'activité biologique des sols.

Les essais de longue durée qui permettent l'étude de l'effet répété de traitements sur la fertilité des sols sont rares, mais ces traitements ne sont pas nécessairement représentatifs des pratiques actuelles et de plus, les méthodes de mesures actuelles n'étant pas disponibles par le passé, ils ne permettent qu'une analyse synchronique des traitements comparés. On peut enfin citer comme références les essais plus récents permettant une analyse diachronique pouvant aider à orienter les études à conduire dans le cadre des Parcs considérés ici : programme viti mis en place par le CICV pour choisir les pratiques agro-viticoles (Descôtes et al., 1995), le réseau RENECOFOR pour le suivi sur le long terme de la fertilité des sols forestiers (Ulrich, 1994) et l'Observatoire de la qualité des sols mis en place par le Ministère de l'Environnement (Martin, 1993). Ce dernier étudie essentiellement la biomasse microbienne et les paramètres associés à celle-ci qui restent les seuls réalisables en routine.

2.2.3.1.6. Conséquence sur la conduite à tenir.

Il ne peut exister d'agriculture durable sans préserver la qualité des sols, laquelle est très largement définie par ses composantes biologiques en interaction avec les propriétés physiques et physico-chimique du sol. La notion de composantes biologiques est préférable à celle trop réductionniste d'indicateurs biologiques de la qualité, laquelle n'est pas monodimensionnelle et ne peut être réduite à une seule détermination. Tant les aspects quantitatifs (relatifs aux fonctions) que les aspects qualitatifs (relatifs aux populations) doivent être évalués. La mesure des premiers est relativement bien maîtrisée, pas celle des seconds. L'identification de variables et de méthodes pour les mesurer ne suffit pas, il faut créer des bases de données de référence et établir des normes d'interprétation qui seront forcément liées au type de sol et au système de culture.

L'étude des seuls sols des Parcs ne suffira donc pas pour fournir une interprétation valide. Ces bases de données, reliant les caractéristiques physico-chimique et les pratiques culturales avec les indicateurs biologiques devraient permettre d'utiliser ces derniers comme indicateurs précoces des altérations subies par les sols. Les méthodes de détermination biologiques fiables sont en nombre limité et des recherches sur la biologie et l'écologie des sols sont impératives pour acquérir un caractère opérationnel en matière de gestion des sols.

2.2.3.2. La décomposition de la matière organique de la litière issue du feuillage de plantes tropicales et les facteurs exogènes influençant celle-ci (Sall et al., 2003).

Comme cela a déjà été signalé dans le cas de la vitesse de dégradation des produits phytosanitaires en milieu tropical (§ 2.2.1.4, Rosendahl et al., 2006), la dégradation de la matière organique y est sensiblement différente de celle observée dans les climats tempérés. La publication, objet de ce paragraphe présente l'avantage de considérer la décomposition de la matière organique en milieu tropical.

La matière organique du sol joue un rôle très important dans la nutrition des plantes, en particulier dans les sols tropicaux pauvres et sableux (Sall et al., 2003). La qualité des résidus à l'origine de la matière organique du sol influence de façon importante les dynamiques (C et N) qui auront ensuite lieu dans celle-ci. Cette qualité peut être évaluée selon divers critères :

- C le ratio C/N : Vigil et Kissel, 1991 ; Giller et Cadisch, 1997 ;
- C la teneur en azote : Vigil et Kissel, 1991 ;
- C la teneur en carbone soluble : Reinersten et al., 1984 ;
- C le contenu en lignine : Berg, 1986 ; Giller et Cadisch, 1997 ;
- C le ratio lignine/N : Vigil et Kissel, 1991 ;
- C le ratio polyphénol/N : Palm et Sanchez, 1991 ;
- C le ratio [polyphénol + lignine]/N : Constantinides et Fownes, 1994.

Les paramètres qui apparaissent comme les plus importants sont :

C La teneur en carbone (C) :

L'indicateur de l'activité biologique qu'est l'émission de CO₂ qui représente l'activité respiratoire de la flore microbienne du sol est positivement et fortement corrélé avec la teneur initiale en carbone libre (Sall et al., 2003). Plusieurs études ont révélé la même tendance avec des substrats organiques très divers (Reinersten et al., 1984 ; Heal et al., 1997 ; Trinsoutrot et al., 2000).

C La teneur en azote (N) organique et le ratio C/N :

La teneur en azote parfois évoquée seule comme c'était le cas du carbone précédemment, peut difficilement être considérée isolément de celle en carbone, tant elles agissent en interaction. Ainsi malgré les différences importantes observées au niveau de la teneur initiale en azote dans des litières issues de *Andropogon gayanus*, *Faidherbia albida* et *Casuarina equisetifolia*, cette teneur ne semble pas corrélée avec la libération de CO₂, bien que d'autres études aient montré qu'une relation existait entre ces deux paramètres (McTiernan et al., 1997). En fait, l'azote

organique contenu dans les résidus soumis à une décomposition, n'interviendrait que lorsque la teneur en azote inorganique s'avère être un facteur limitant (Trinsoutrot et al., 2000 ; Recous et al., 1995). De plus, l'essentiel de l'azote organique contribue à la structure de macromolécules (cellulose, lignine,...) dont la décomposition est lente, ne devenant disponible qu'à long terme (Vanlauwe et al., 1996), la durée requise pour qu'il soit disponible dépassant celle de l'expérience conduite par Sall et al. (2003).

Le ratio C/N des substrats est le plus couramment utilisé pour expliquer les différents taux d'inversion dans la décomposition initiale des résidus (Hendrickson, 1985). Plus ce ratio est élevé plus le taux de décomposition est réduit (Parr et Papendick, 1978). Une concentration des résidus en azote (organique + minéral) équivalente à 2,5 % de celle en carbone (1,2 % de la matière sèche) est suboptimale (Recous et al., 1995 ; Henriksen et Breland, 1999). Ainsi, le seuil pour ce ratio est (C/N = 25), si (C/N < 25) la minéralisation peut se produire normalement, si (C/N > 25) le processus est ralenti voir bloqué (Jensen, 1994 ; Trinsoutrot et al., 2000). Les résultats obtenus par Sall et al. (2003) avec *F. albida* (C:N=22), meilleurs que ceux obtenus avec *A. gayanus* (C/N = 51) et *C. equisetifolia* (C/N = 35) sont conformes avec les assertions précédentes.

C L'apport d'azote inorganique :

Néanmoins, l'apport d'azote inorganique sous forme de sulfate d'ammonium $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ influence positivement la décomposition globale de la litière quelle que soit l'espèce botanique considérée (*A. gayanus*, *F. albida* et *C. equisetifolia*) dans l'expérience de Sall et al. (2003). L'impact positif d'un apport d'azote inorganique sur la minéralisation de l'azote et du carbone organiques a été mise en évidence par de nombreuses études (Recous et al., 1995 ; Henriksen et Breland, 1999 ; Sakala et al., 2000). L'effet positif de l'ajout d'azote inorganique sous la forme de $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ à la litière de *C. equisetifolia* sur la respiration microbienne (production accrue de CO_2) durant la phase initial de décomposition de la matière organique (Sall et al., 2003) pourrait être dû à la formation de complexes entre l'ion NH_4^+ et les composés phénoliques bloquant leur action inhibitrice des micro-organismes (Berg et Matzner, 1997).

L'apport d'azote inorganique peut parfois se traduire par un effet négatif sur la minéralisation des résidus organiques, quoique rarement, comme dans le cas de la litière à base de *F. albida* dont la minéralisation du carbone décroît rapidement quand il y a apport de $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ (Sall et al., 2003), trois explications possibles sont envisagées par cet auteur :

- C *F. albida* étant parmi les trois espèces étudiées celle qui a déjà naturellement le ratio C/N le plus favorable, l'apport supplémentaire d'azote inorganique accélère excessivement la décomposition du carbone immédiatement disponible, entraînant une chute rapide de l'activité de décomposition
- C une réduction de l'accessibilité au carbone disponible par la formation de complexes avec l'ion NH_4^+ , la formation de tels complexes ayant déjà été citée dans la littérature (Haider et al., 1975)
- C une réduction de l'activité microbienne (Bremer et al., 1991).

C La teneur en polyphénols :

Bien que les litières issues de *Andropogon gayanus* et de *Casuarina equisetifolia* aient des ratio C/N très différents (respectivement 51 et 35), Sall et al. (2003) n'a pas réussi à mettre en évidence une différence entre celles-ci au niveau de la minéralisation de l'azote, alors que le rapport C/N plus faible de la seconde espèce aurait dû moins réduire la mobilisation de l'azote. Bien que toutes deux aient un ratio supérieur à 25, seuil critique d'immobilisation de l'azote, une autre explication est possible, l'abondance des polyphénols observée chez *C. equisetifolia*. En effet, il a été montré que ceux-ci ont un effet négatif sur la minéralisation de l'azote (Palm et Sanchez, 1991), car ils peuvent complexer les protéines et les pectines, rendant celles-ci inaccessible à l'action des micro-organismes (Palm et Sanchez, 1991 ; Vanlauwe et al., 1996). Les polyphénols sont aussi considérés comme pouvant être à l'origine du ralentissement observé dans la cinétique de la décomposition de la matière organique à moyen terme (Marstrop, 1996), en ayant une action inhibitrice sur la croissance microbienne (Boufalis et Pellissier, 1994), qui se traduirait par une régulation de la dégradation des substrats organiques (Bernhart-Reversat, 1999). Les polyphénols ayant une faible masse moléculaire et solubles dans l'eau plus certains composés polyphénoliques pourraient aussi jouer un rôle clé durant l'étape initiale de décomposition des résidus organiques (Swift et al., 1979 ; Couteaux et al., 1998).

C La teneur en lignine :

Les différentes teneurs en lignine de *A. gayanus*, *F. albida* et *C. equisetifolia* n'ont pas d'effet significatif sur la minéralisation de l'azote (Sall et al., 2003), bien que cette substance soit généralement considérée comme la bloquant ((Palm et Sanchez, 1991).

C autres considérations :

Le sol situé sous la canopée des arbres bénéficie d'une influence positive (Steppeler et Nair, 1987), mais l'importance de cet effet varie selon les espèces d'arbre (Bernhard-Reversat, 1982).

En plus de la méthode d'incubation du mélange sol-litière, l'article de Sall et al. (1993) précise les méthodes mises en oeuvre pour doser les différents groupes de substances servant de critère pour évaluer la qualité des résidus ainsi que leurs références :

- C dosage du carbone total soluble avec la méthode COD utilisant du dichromate (Anonymous, 1994)
- C extraction des composés phénoliques totaux par la méthode TSBF (Anderson et Ingram, 1993).
- C dosage des différentes fractions phénoliques (solubles dans l'eau et solubles dans le méthanol) avec le réactif modifié de Folin-Denis (King et Heath, 1967)
- C dosage des protéines solubles dans l'eau par la méthode de Lowry et al., 1951
- C dosage des hydrates de carbone solubles dans l'eau selon la méthode décrite par Nelson (1944) et Somogyi (1945)
- C dosages de l'hemicellulose, de la cellulose et de la lignine selon la méthode de Goering et Van Soest (1970)
- C dosage de l'azote et du carbone totaux par combustion à sec dans appareil LECO FP 428 CHN.

- C dosage de l'azote inorganique du sol par colorimétrie selon la méthode de Bremner (1965)
- C dosage de l'azote et du carbone de la biomasse microbienne par la méthode de fumigation-extraction (Amato et Ladd, 1988)
- C dosage de la β -glucosidase selon une méthode adaptée de Hayano (1973) et des deshydrogenase selon la méthode modifiée de Thalman (1968).

Une bonne prédiction de la décomposition des résides de différentes natures ne peut être obtenu en ne mesurant qu'un seul de ces critères (Sall et al., 2003), la mesure de plusieurs de ceux-ci étant nécessaire (Herman et al., 1977 ; Martens, 2000).

2.2.3.2. Comment améliorer la biodiversité des sols en traitant celui-ci comme un habitat (Clapperton, 2003).

Trois caractéristiques définissent la qualité d'un sol (Clapperton, 2003) :

- C ses propriétés chimiques : les principaux paramètres pris en compte sont liés à sa fertilité et correspondant le plus souvent à la teneur en éléments disponibles tels que : l'azote (N), le phosphore (P), le potassium (K), les micro-éléments Cu, Zn, Mn,..., ainsi que le contenu en matière organique (SOM) et le pH,
- C ses propriétés physiques : elles regroupent les caractéristique structurelles comme la formation d'agrégats et leur stabilité, la couche arable et sa texture,
- C ses propriétés biologiques : elles font le lien entre les propriétés chimiques et physiques du sol avec à titre d'exemples :
 - < La transformation par les champignons et les bactéries du carbone, de l'azote, du phosphore, du soufre et autres éléments nutritifs contenus dans la SOM en éléments minéraux utilisables par les plantes
 - < les exsudats racinaires, les hyphes des champignons, les sécrétions et déchets produits par les bactéries qui lient les petites particules du sol améliorant ainsi sa structure
 - < le sol devient ainsi un habitat meilleur pour la faune édaphique qui a son tour participe au recyclage des éléments nutritifs
 - < les déjections (agrégats des déjections d'invertébrés et de lombriciens) des invertébrés forment des agrégats de plus grande taille qui améliorent la pénétration de l'eau, l'aération du sol et l'enracinement
 - < l'activité de la faune du sol entraînent plus en profondeur des micro-particules organiques qui, se mélangeant avec celles inorganiques du sol, en améliorent la capacité de rétention de l'eau.

L'activité biologique d'un sol est donc déterminante pour maintenir, voire augmenter sa fertilité.

La productivité d'un sol est en général mesurée en termes de volume des récoltes obtenues avec celui-ci (Brady, 1974), bien qu'elle soit déterminée par les caractéristique physiques du sol, sa fertilité, la composition et l'activité des organismes le peuplant. La productivité d'un sol ne peut donc se réduire aux rendements obtenus.

Les principaux éléments à prendre en compte sont :

C La rizosphère :

Dans les sols non perturbés, selon Clapperton (2003), la majorité des éléments nutritifs sont localisés dans la couche supérieure du sol (jusqu'à 20 à 30 cm de profondeur), appelée la zone d'enracinement ou rizosphère, laquelle est le site d'importants phénomènes liés à la fertilité du sol :

- < Elle contient des éléments carbonés riches en énergie, issus de la photosynthèse et relâchés dans le sol par les racines, les exsudats racinaires, composés de sucres et d'acides aminés ou organiques
- < l'ensemble de ces exsudats représente un signature propre à chaque espèce végétale
- < les propriétés physiques et chimiques du sol affectent dans une certaine mesure la qualité et la quantité de ces exsudats, mais ceux-ci ont un effet déterminant sur la composition des communautés microbiennes du sol
- < les populations de symbiontes, de champignons mycorhiziens, mais aussi de pathogènes du sol, peuvent être fortement déterminées par ces exsudats.

C La rhizosphère et les champignons mycorhiziens “vesiculo-arbusculaires” (VAM fungi ou WAMf) :

Les VAMfs constituent très probablement le type de relation “Plante-Sol-Organismes du sol” le plus intime, qui illustre le mieux le potentiel d'utilisation des processus existant dans la rhizosphère pour améliorer la productivité agricole. Ils se développent en symbiose avec approximativement 80 % des plantes non forestières : certaines espèces d'oléagineux, les céréales d'hiver ou d'été (étant essentiel pour l'installation, la croissance et la survie en particulier de céréales de saison chaude comme le maïs, le millet ou le sorgho), quelques dicotylédones comme le tournesol, le lin ou les pommes de terre dont le développement précoce et la croissance dépendent fortement. Leurs hyphes s'étendent depuis la racine en formant dans le sol un réseau d'échange extrêmement efficace, véhiculant l'eau et les éléments nutritifs du sol (en particulier les moins disponibles : phosphore, calcium, zinc, cuivre,...) vers la plante, en échange de substances carbonées riches en énergie provenant de la photosynthèse de la plante associée. Ainsi le renforcement de la colonisation du sol par des VAMfs augmente la teneur des plants de blés en éléments nutritifs (Clapperton et al. 1997a).

Les plantes très dépendantes des WAMfs ont des racines peu développées avec un système racinaire réduit, alors que les plantes peu dépendantes de ceux-ci ont des racines fortement développées capables avec une capacité élevée à capter les éléments nutritifs du sol. Néanmoins, des plantes peu dépendantes des WAMfs peuvent recourir à ceux-ci en situation de stress, en particulier de stress hydrique ou d'attaques d'espèces phytopathogènes.

Dans le tableau 10 reproduit ci-après, Clapperton (2003) synthétise la dépendance de grands groupes de plantes cultivées vis-à-vis de WAMfs.

Tableau 10 : Niveau de dépendance de quelques plantes d'intérêt agricole vis-à-vis des WAMfs.

Niveau de dépendance	Espèces ou groupes d'espèces
Forte	Pois, Haricots et autres légumineuses, Lin, Tournesol, Maïs, la plupart de des tubercules ou racines d'intérêt agricole, les arbres ou graminées tropicales
Faible	Le blé et autres céréales d'hiver
Nulle	Le colza, la moutarde et autres <i>Brassicaceae</i> , le genre <i>Lupinus</i>

La physiologie des tubercules ou racines d'intérêt agricole est fortement modifiées par leur association avec les WAMfs, leurs efficacités photosynthétique, à utiliser l'eau présente dans le sol et à mobiliser les divers composés carbonés présents dans le sol est améliorée. Inclure dans les rotations des pâturages, des plantes pérennes, des légumineuses, ou tout autre plante fortement dépendantes des WAMfs comme le maïs, le sorgho, le lin ou le tournesol peut augmenter de façon drastique les populations et le réseau des WAMfs dans les sols cultivés.

C Les lombriciens ou “les ingénieurs du sol”:

Leur présence dans les sols est souvent considérée comme un indicateur positif de la qualité du sol et de son potentiel productif, leur abondance augmentant de façon drastique dans les sols peu perturbés et lors de l'utilisation de semis directs.

La strate où gîtent les lombriciens (drilosphere) est plus riche en bactéries nitrifiantes, l'enrichissement en azote résultant de leur action peut en partie expliquer pourquoi les racines se développent souvent dans les galeries des vers de terre. L'habitat des lombriciens peut rester stable de nombreuses années, augmentant la densité racinaire et améliorant la structure du sol en stabilisant les agrégats. Les lombriciens sont souvent considérés comme un facteur essentiel dans la décomposition de la matière organique et le recyclage de l'azote dans les systèmes utilisant un travail minimum du sol, ceux-ci ne perturbant pas leur activité et laissant intactes leurs galeries.

Les relations entre le développement des lombriciens et le système racinaire des plantes est complexe, certaines de celles-ci ayant des racines explorant préférentiellement les galeries existantes, d'autres, à l'inverse, déterminant la distribution spatiale de ces galeries. Les fortes populations de lombriciens ne sont pas nécessairement reliées à une fertilité favorable des sols, mais ils participent activement à l'élaboration et au maintien de la fertilité des sols tropicaux. Des sols peuvent être hautement productifs sans pour autant y détecter la moindre présence de lombriciens. Dans ce type de sols, d'autres organismes du sol (enchytreides [vers oligochètes], microarthropodes, protozoaires, nématodes,...) peuvent s'avérer être de précieux indicateurs d'une gestion durable des sols.

C La gestion du sol comme un habitat

Ce concept d'habitat (aire dans laquelle vit une population d'espèces animales et/ou végétale) déjà évoqué dans la publication de Clapperton (2003) est essentielle car intégratrice. Brady (1974) définit la gestion d'un sol comme l'ensemble des pratiques qui lui sont appliquées : labour et autres travaux du sol, techniques diverses de culture jusqu'à la récolte, amendements, et tous traitements appliqués pour la production végétale [produits phytosanitaires,....]).

< labours et travaux du sol

Ils affectent directement :

- = l'incorporation et donc le positionnement des résidus pouvant affecter positivement ou négativement le recyclage des nutriments par les organismes du sol (recharge en nutriments et taux de dégradation)
- = ce positionnement influence par ailleurs la température du sol, l'évaporation, la teneur en eau du sol
- = les tunnels ou galeries creusés par la faune du sol, donc sa porosité, laquelle modifie la circulation et les échanges avec l'extérieur de l'eau, des gaz, des nutriments

Les semis directs augmentent très fortement la biodiversité du sol (en particulier en augmentant les populations de champignons participant activement à la décomposition des résidus et d'acariens s'alimentant sur leurs hyphes). Ils augmentent la résilience des sols (retour plus rapide à un état normal après diverses perturbations : inondations, sécheresse,....). La teneur en matière organique est augmentée et le taux de recyclage de l'azote est amélioré.

< les amendements et les résidus de récolte

L'augmentation de la teneur en matière organique (semis direct, rotations favorables, apport de fumier ou de compost) augmente les populations de microorganismes qui s'en alimentent et réduit les risques de développement d'organismes phytopathogènes pouvant attaquer les plantes (les microorganismes s'alimentant de la matière organique [*Penicillium* spp et *Trichoderma* spp] étant souvent antagonistes des espèces phytopathogènes).

Par ailleurs les résidus de certaines cultures (raygrass, moutarde, avoine, tournesol, chanvre, vesce poilue [*Vicia villosa*] ...) ont un effet allélopathique (substances produites directement par ces plantes, ou indirectement lors de leur dégradation par les microorganismes) sur diverses mauvaises herbes en réduisant le développement.

< les rotations

Des céréales produisant une forte masse de résidus peuvent être mise en rotation avec des espèces cultivées en produisant peu (pois, lentilles, moutarde, tomates, colza,....). La culture de légumineuses, seules ou en association avec une céréale augmente la teneur en azote disponible dans le système de culture. De plus, plusieurs légumineuses en plus d'améliorer la teneur en azote du sol (association avec un *Rhizobium* par exemple), augmente aussi sa teneur en phosphore grâce à l'association avec un WAM. Les populations de microorganismes présentes dans les sols

bénéficiant de plantes de couverture sont plus abondantes et variées que celles observées dans les sols bénéficiant d'un apport du fumier (Wander et al., 1995).

< la présence de racines vivantes.

Les racines vivantes d'une culture installée dans un sol, dans un premier temps, entrent en compétition avec les microorganismes pour la consommation de l'azote minéral réduisant ainsi la minéralisation du carbone, mais dans un second temps, elles interviennent en stimulant la minéralisation du carbone fixé dans les résidus plus ligneux ou résistants. Ainsi, 38 % de l'azote présents dans les résidus de luzerne sont minéralisés en présence d'une culture de maïs, contre seulement 23 % en l'absence de plantes vivantes (Pare et al. 2000).

Ainsi les plantes fournissent le substrat (résidus ou exsudats) permettant aux microorganismes du sol de stabiliser les agrégats et de recycler les nutriments. Ensemble, ils modifient en permanence le sol en tant qu'habitat, les quantités et la qualité des résidus de cultures disponibles étant largement déterminants pour la diversité et l'abondance des organismes présents.

< les pratiques culturales permettant d'augmenter la SOM : la clé de la restauration de l'habitat d'un sol.

Les éléments essentiels pour restaurer l'habitat d'un sol jusqu'alors travaillé de façon conventionnel sont :

- = la réduction des labours et autres travaux perturbant mécaniquement le sol
- = un apport de résidus optimal en quantité et qualité pour alimenter et augmenter l'activité biologique dans le sol
- = intégrer dans le système de rotation des pâtures ou des plantes pérennes (en particulier des légumineuses)
- = disposer ainsi d'une litière de résidus de plantes fraîches pour maintenir et diversifier la macrofaune du sol (y compris les vers de terre) (environ 15 à 30 % de l'apport en matière organique annuel est consommé par la faune du sol, en particulier les lombriciens et les enchytreides qui en consomment la plus grande part, [Wolters 2000])
- = le maintien d'une litière et d'une SOM en quantités suffisante, car les vers de terre qui stimulent l'activité microbienne peuvent provoquer une accélération des pertes de carbone.

< Pâtures et cultures pérennes.

Les populations d'arthropodes du sol sont plus affectées par les pratiques culturales auxquelles est soumis le sol, que par la nature et la qualité du substrat disponible (Wardle et al., 1999). Une pâture de courte durée (jusqu'à 5 ans) peut améliorer la quantité et la qualité de la SOM avec comme conséquence une meilleure disponibilité en azote et une stabilisation de la structure du sol, ainsi qu'augmenter la quantité et la diversité des populations de vers de terre (Haynes, 1999). Pâtures et cultures pérennes réduisent les perturbations affectant le sol et augmentent la résistance et la résilience des organismes du sol en maintenant la SOM à un niveau

adéquat.

< Les plantes de couverture

L'effet des plantes de couvertures ou de "mulchs vivants" est une méthode efficace pour améliorer la SOM. Néanmoins, lorsqu'elles sont associées dans un système utilisant la pratique de labours, elles ont un effet améliorant sur l'activité microbienne moindre que celui obtenu avec les pâtures ou les cultures pérennes (Bending et al., 2000). Or malheureusement, l'utilisation de plantes de couvertures est souvent associée à un labour pour les incorporer dans le sol, comme engrais vert. Une forte densité de populations de microarthropods est associée à cette pratique.

< l'agroforesterie

La litière formée par les feuilles des arbres ainsi que la présence de leur racines améliorent la SOM, stimulent l'activité microbienne et augmentent la disponibilité en nutriments. Les racines relâchent plus vite de l'azote et du phosphore que le feuillage sur le sol, dans les cas des cultures conduites en allées. La taille des arbres, contrairement à ce qui se passe en climats tempérés, augmente significativement la SOM. La présence d'arbre dans un habitat semi-naturel constitue aussi un refuge pour la faune du sol et les insectes auxiliaires.

< l'amélioration variétale des espèces cultivées

En plus d'un travail réduit du sol et de la pratique de semis directs, les producteurs doivent envisager une évolution de leurs autres méthodes de production, comme la réduction de l'usage intrants, pour répondre à la demande des consommateurs pour des aliments produits en respectant l'environnement. La création de variété mieux adaptées à ces nouvelles conditions de production est indispensable, la plupart de celles disponibles actuellement ayant été évaluée dans des conditions optimales (sans compétition pour les nutriments, l'eau, l'espace et l'insolation). Elles tirent peu de bénéfices des symbiotes (mycorhizes, bactéries fixatrices d'azote) favorisés par les pratiques conservatrices précédemment évoquées. L'amélioration des variétés cultivées destinées à être employées dans des systèmes de culture moins péjorants pour l'environnement doivent prendre en compte : leur adaptation à des sols recevant un travail minimum, leur aptitude à bénéficier des symbiotes, leur capacité à produire une masse végétal (racines et parties aériennes) suffisante pour participer au maintien de la SOM à un niveau adéquat.

3. Les éléments pouvant permettre une réduction de l'impact de la culture cotonnière sur l'environnement et comment en mesurer les effets.

Ce chapitre a pour propos d'envisager quelles pratiques peuvent être modifiées ou nouvellement mises en oeuvre pour réduire l'impact de la culture cotonnière sur l'environnement, dans la parcelle cultivée mais aussi hors de celle-ci, ainsi que les indicateurs pouvant être retenus pour évaluer leurs effets et les méthodes de mesures possibles de ces indicateurs. Il se limitera à l'usage des produits phytosanitaires, l'aspect agronomique ayant déjà été développé dans les précédents rapport (Guibert et Prudent, 2006 ; et surtout Baudron, 2007).

3.1. Propositions de domaines d'intervention pouvant permettre de réduire l'impact environnemental de la culture cotonnière.

Dans ce paragraphe trois sujets seront abordés :

- Ç la diminution de l'EIQ de façon globale
- Ç la diminution des dérives hors des parcelles durant les traitements
- Ç la migration des produits hors des parcelles après les traitements, essentiellement par lessivage et ruissellement

3.1.1. Possibilités de réduire l'EIQ des pratiques phytosanitaires en culture cotonnière de façon globale.

L'EIQ est pris comme indice de référence pour ces premières propositions car le rapport de 2006 (Guibert et Prudent, 2006), ainsi que le présent rapport, l'ont retenu comme critère de mesure de l'impact sur l'environnement et sa valeur a déjà servi à illustrer et comparer diverses situations (exemples en cultures cotonnières et maraîchères au Bénin (Guibert et Prudent, 2006) ; exemples en cultures maraîchères au Bénin et dans le sud de l'Europe, présent rapport). Les données pour le calculer sont par ailleurs disponibles pour la plupart des produits utilisés dans la région (annexe 06). Il s'agit enfin d'un indice prédictif ne nécessitant connaître de source sûre que l'EIQ des matières actives employées, ainsi que les masses épandues (g. par hectare, pour un traitement, un programme complet de protection,...).

Les deux paramètres sur lesquels il est possible d'intervenir sont les quantités épandues pour chaque matière active utilisée (programmes de traitements raisonnés) et l'EIQ propre à celles-ci active en retenant de préférence celles ayant une valeur la plus faible possible (choix des matières actives).

3.1.1.1. Les programmes de traitements contre les ravageurs.

La culture cotonnière est celle pratiquée par l'homme qui héberge le plus grand nombre d'espèces d'insectes : Hargreaves (1948) recensait déjà 1.326 espèces différentes dont la présence avait été signalée dans cette culture (toute n'ayant pas heureusement une importance économique significative ou n'étant que des espèces opportunistes présentes sans avoir d'effet négatif sur la culture). Néanmoins, elle est celle pouvant souffrir les pertes les plus importantes infligées par des ravageurs. Depuis longtemps diverses méthodes sont mises en oeuvre pour en réduire les effets (résistance variétale [hors OGM], rotation des cultures, dates de semis pertinentes,

destruction des restes de récolte, interventions sur seuil,...) (Vaissayre, 1999). Malgré cela, l'emploi de produits phytosanitaire reste nécessaire.

Tous les pays de la région, même hors de celle-ci (Camerou, Tchad,...), utilisent en culture cotonnière des programmes fixes de traitements phytosanitaires pour lutter contre les ravageurs. Ces derniers représentant un facteur limitant important pour la productivité de cette culture. Ces programmes sont dans la plupart des cas déterminés de façon fixe et préventive. Les traitements sont appliqués de façon systématique, sans prise de décision, à des dates préétablies qui sont calculées à partir du semis ou de la levée de la culture. Le nombre de traitements recommandé officiellement varie entre 5 et 7 (6 au Burkina Faso et au Bénin, voir respectivement pour ces deux pays les tableaux 02 et 03 du § 2.1.4.3. du présent rapport et le tableau 21 du § 3.4.4.2. du premier rapport (Guibert et Prudent, 2006)). Par ailleurs, le plus souvent, les paysans ne respectent pas ces programmes, en réduisant dans la plupart des cas le nombre des traitements, rarement en l'augmentant. Ainsi au Bénin, et selon une étude conduite par le projet PARCOB (Fadoegnon et al., 2004), le nombre moyen de traitements réalisés par an et par champ est seulement de 4,33 (moyenne variant de 2,79 à 6,13 selon les villages) (voir tableau 11, ci-dessous). Plus de 50 % des paysans ne réalisent que quatre traitements ou moins. l'EIQ réel de la protection phytosanitaire est donc en général, sensiblement inférieur aux valeurs annoncées qui font référence à un programme recommandé complet dont tous les traitements auraient été appliqués.

Tableau 11 : Nombre de traitements phytosanitaires réalisés par les producteurs de coton au Bénin, enquête du Projet Parcob, année 2003, Composante I (Fadoegnon et al., 2004).

Village	Nombre de traitements insecticides réalisés par les paysans (0 à 8) et effectif des paysans par classe									NP TOT	N.T. Moy
	0	1	2	3	4	5	6	7	8		
Gandokossikana	0	0	0	0	1	0	26	2	2	31	6,13
Tchanhoun	0	1	9	14	5	0	0	0	0	29	2,79
Beroubouay	0	0	0	11	19	0	0	0	0	30	3,63
Ouénou	0	0	0	0	0	10	20	0	0	30	5,67
Bougou	0	0	0	1	13	11	4	0	0	29	4,62
Kpakpavissa	0	0	0	0	10	8	8	4	0	30	5,20
Lagbave	0	0	0	24	5	0	0	0	0	29	3,17
Ewe	0	0	5	15	3	3	0	0	0	26	3,15
Total	0	1	14	65	56	32	58	6	2	234	4,33
% du total général	0,00	0,43	5,98	27,78	23,93	13,68	24,79	2,56	0,85	100,00	4,33
Cumul des %	0,00	0,43	6,41	34,19	58,12	71,79	96,58	99,15	100,00	-----	-----
N.B. : NP TOT = nombre de paysans suivis par village ; N.T. moy = nombre moyen de traitements.											

Ce sous-dosage n'est pas limité au seul cas du Bénin, mais apparaît comme une réalité généralisée à tous les pays de la sous-région. Ainsi Doussa (2004) signale que dans l'enclave de Kandio, située à l'est du Burkina Faso, entre le Parc W et la réserve partielle de faune de la Kourtiagou, le nombre de traitements phytosanitaires réellement effectués par an varie entre 2

et 3, selon le type d'exploitation, soit la moitié ou moins du nombre de 6 officiellement recommandé. A ceci s'ajoute par ailleurs un sous-dosage lors des traitements (réduction des g. de MA appliqués par hectare par rapport aux doses recommandées) obtenu par une dilution excessive lors de la préparation de la bouillie avant les traitements. Là encore, l'EIQ correspondant aux pratiques réelles sera donc bien inférieur aux valeurs calculées à partir des programmes officiellement recommandés.

Cependant, mise à part l'agriculture biologique, certains programmes employant des produits phytosanitaires, mettent en oeuvre un système de décision reposant sur la réalisation préalable d'observations dans les parcelles et permettent de réduire de façon plus ou moins importante les masses de matières actives insecticides épandues par hectare et par campagne. Ces programmes raisonnés sont l'objet d'études conduites depuis plus 15 ans, offrent de bons résultats bien que leur extension progresse lentement, la simplification des observations requises et la formation des observateurs représentant les principaux obstacles à vaincre (Michel et al., 1999).

Le cas de la production du coton biologique et quelques exemples de programmes de lutte raisonnée sont présentés et discutés ci-après.

3.1.1.1.1. La production de coton biologique.

Cette option déjà envisagée dans les deux rapports précédents (Guibert et Prudent, 2006 ; Baudron, 2007) n'a pas été retenue comme recommandable, du moins avec les itinéraires techniques actuellement recommandés et les rendements obtenus au Burkina Faso.

Ces rendements ne sont pas stables dans le temps et dans l'espace, restant très limités. Le tableau 12, ci-après (page suivante), résume les résultats des campagnes 2004-2005, 2005-2006 et 2006-2007 (Helvetas Burkina Faso, 2005, 2006 et 2007). A priori (sans prendre en compte des facteurs pouvant influencer fortement la productivité, comme le climat ou la pression annuelle des ravageurs : informations non disponibles), il semblerait que le rendement s'améliore d'année en année dans les zones soumises à une pression agricole ancienne (Ioba, Tiéfora et Pô) alors qu'elle diminue régulièrement dans une zone pouvant être considérée comme pionnière : Fada. Un équilibre pourrait être atteint à l'issue de quelques années, avec une amélioration de la productivité des sols usés des zones anciennement exploitées et une dégradation de celle-ci dans la zone de Fada (mesures insuffisantes pour le maintien de la fertilité des sols et augmentation de la pression des ravageurs avec l'extension de la culture cotonnière dans cette zone).

Tableau 12 : Nombre de producteurs de coton biologique au Burkina Faso, surfaces cultivées et rendement en kilogramme de coton-graine par hectare pour les campagnes 2004-2005 à 2006-2007, par zone de culture (Helvetas Burkina Faso, 2005, 2006 et 2007).

Zones	Nombre de producteurs	Superficie (ha)		Kg/ha de coton-graine
		totale	moyenne	
Campagne 2004-2005				
Fada	17	10,62	0,62	840
Ioba	26	7,72	0,30	177
Tiefora	29	11,35	0,39	170
Campagne 2005-2006				
Fada	192	108,00	0,56	694
Ioba	162	75,00	0,46	339
Pô	114	41,00	0,36	434
Tiefora	195	98,00	0,50	327
Campagne 2006-2007				
Fada	294	196,30	0,67	549
Ioba	346	148,62	0,43	476
Kayao	74	52,05	0,70	392
Pô	251	152,00	0,61	557
Tiéfora	186	135,80	0,73	471
Productivité Moyenne				
Fada (3 campagnes)				694
Ioba (3 campagnes)				331
Pô (2 camapagnes)				496
Tiéfora (3 campagnes)				323

Au Mali, la productivité est aussi faible (360 Kg/Ha 2007, Renou, communication personnelle et la productivité obtenue à Koussounar au Sénégal, rapportée par Palm (2005), n'est pas meilleure :

campagnes :	1995-1996	1996-1997	1997-1998	1998-1999	1999-2000	2000-2001
producteurs :	53	152	474	458	102	162
Kg/ha :	298	321	106	103	137	343

Les méthodes mises en oeuvre pour la protection phytosanitaire de cette culture ont déjà été évoquée dans les § 2.1.2.1. et 2.1.2.2. de ce rapport. Palm apporte quelques précisions supplémentaires :

- ⌚ les traitements peuvent être complétés par une lutte mécanique, consistant à ramasser les ravageurs et à les détruire mécaniquement (mais cette pratique est rarement utilisée au Burkina Faso) ainsi que par l'utilisation de ligne intercalaire de gombo (*Hibiscus esculentus*) jouant le rôle de plantes pièges
- ⌚ l'extrait de neem obtenu par macération peut être mélangé avec de l'huile de Koby (*Carapa procera*), de l'huile de Mpeku (*Lannea microcarpa*), de l'urine de vache, mais aussi à défaut de ces huiles, peuvent aussi être ajoutés du piment, de l'ail et du tabac.

C en cas de fortes attaques, les producteurs font des traitements complémentaires avec des spécialités commerciales à base de toxines de *Bacillus thuringiensis* disponibles dans les marchés (Batik, Biobit, Orka).

Lorsque la pression des ravageurs paraît élevée, les producteurs traitent chaque semaine. Les traitements sont renouvelés après chaque pluie, mais leur nombre est réduit si les champs paraissent sains.

Cet auteur détaille plus précisément la composition du biopesticide utilisé au Sénégal, qui contient : 1 Kg de graine de neem séchées macéré dans 10 litre d'eau pendant 1 à 2 jours, 20 feuilles de papayer fraîchement cueillies et pilées le jour du traitement dans 1 litre d'eau, 1 litre d'urine de vache fermentée et 20 g de savon indigène (ces 3 derniers ingrédients étant mélangé à l'extrait de neem filtré le jour du traitement). L'ensemble sert à traiter un hectare, 6 à 7 traitements étant réalisés par campagne.

Cette étude conduite à Kabougou et Toptiagou ne précise malheureusement pas les rendements obtenus. Palm (2005) évoque par contre les obstacles identifiés comme représentant un frein au développement de la culture de coton biologique :

- C le manque d'équipement : pour la réalisation des fosses à fumier, pour le transport du fumier (une seule brouette enregistré lors des enquêtes de cette étude)
- C la contrainte en main-d'oeuvre : pour la réalisation des fosses à fumier et la préparation des biopesticides
- C le manque d'expérience et le niveau de formation : seulement 11,11 % des chefs d'exploitation sont alphabétisés alors que le système de certification exige qu'au moins un membre de chaque exploitation soit alphabétisé
- C le manque de fumier ou de compost
- C l'existence de cultures de coton traditionnel, aucun indice pouvant indiquer la présence ou l'utilisation d'insecticide n'étant accepté par le système de certification
- C le nombre insuffisant de points d'eau, alors que l'arrosage des fosses à fumier nécessite de grands quantités de ce liquide
- C la rareté des arbres de neem dans la région
- C un cadre institutionnel défavorable, avec des niveaux de revenus substantiels obtenus par les producteurs encadrés par la SOFITEX et produisant du coton traditionnel
- C la Tapoa est considérée comme zone d'excellence pour la production cotonnière dans l'Est du pays et toute action pouvant entraîner une chute de la productivité y est mal venue

En résumé, les grands producteurs bien équipés n'adoptent pas la culture biologique. Seuls les petites producteurs signalent être prêts à s'engager dans cette culture, s'ils sont aidés au niveau des équipements (création de fosses à fumier, équipement de transport), si les revenus obtenus sont satisfaisants et si le coton vendu est payé rapidement. Son développement doit donc se faire avec un encadrement fort, un échec lors d'une première expérience par les producteurs risquant de bloquer définitivement son extension. La chute des surfaces cultivées en coton biologique au Sénégal (à partir de 1999) est expliquée comme étant due à des problèmes de gestion des programmes chargés de son développement ayant causé une perte de confiance des producteurs vis-à-vis de techniciens de l'encadrement, aux faibles rendements provoqués par de

violentes attaques ravageurs mal maîtrisés par les biopesticides et à un manque de crédit pour les équipements nécessaires.

En plus de tous les freins au développement du coton biologique évoqués par Palm (2005), s'ajoute le doute concernant l'efficacité des biopesticides utilisés pour la lutte contre les ravageurs de cette culture. Ainsi l'INERA (2007) a testé plusieurs alternatives à base de poudre de d'amande de neem correspondant aux dosages suivant :

Alternatives testées	Dose / ha
℄ poudre d'amande de neem	: 4 Kg
℄ poudre d'amande de neem	: 5 Kg
℄ poudre d'amande de neem	: 10 Kg
℄ poudre d'amande de neem + alcool 90°	: 4 Kg + 1000 cm ³
℄ poudre d'amande de neem + alcool 90°	: 5 Kg + 1000 cm ³
℄ poudre d'amande de neem + huile de Koby	: 4 Kg + 500 cm ³
℄ poudre d'amande de neem + huile de Koby	: 5 Kg + 500 cm ³

Ces ingrédients sont mis à macérer pendant 24 heures dans de l'eau (4,5 litres) (les quantités exactes sont ajustées pour obtenir au final les dosages indiquées ci-dessus). Les parcelles sont traitées tous les 10 jours à partir du 40ème jour après la levée.

Ces alternatives sont testées par rapport à un témoin non traité. Quelles que soient les observations réalisées (étude de l'abscission des organes fructifères, comptages de chenilles carpophages dans les organes fructifères ou présentes sur les plants [*Helicoverpa armigera*, *Diparopsis watersi*, *Earias* spp, *Cryptophlebia leucotreta*], pourcentage de chenilles parasitées, comptages de chenilles phyllophages sur les plants [*Syllepte derogata*, *Spodoptera littoralis*, *Anomis flava*], infestations par les insectes piqueurs-suceurs [*Aphis gossypii*, *Bemisia tabaci*, Jassides, *Dysdercus* sp, punaises diverses]), aucune de ces variables n'a mis en évidence le moindre effet de la part des diverses alternatives testées.

Ce rapport signale que les formulations testées dans des études identiques conduites toujours par l'INERA durant les deux campagnes précédentes n'avaient pas montré d'effet insecticide. Il semble donc que les biopesticides utilisés en culture de coton biologique, et dont l'ingrédient principal est le neem, ne permettent pas d'obtenir une protection vraiment efficace contre les ravageurs de cette culture.

Matthess et al. (2005), dans leur étude sur la compétitivité de cinq systèmes culturaux cotonniers au Bénin, signalent que les rendements restent bas dans le cas de la culture biologique au Bénin (voir tableau 13 en page suivante). Par ailleurs, leur analyse économique de ces systèmes culturaux montre que le coton biologique n'est pas économiquement satisfaisant. Le tableau 14 (en page suivante) résume cette analyse en se limitant aux rendements, marges brutes et marges nettes, pour quatre des cinq cas étudiés. La marge nette dans le cas du coton biologique est faible ou négative, bien que meilleure que celle calculée pour le coton conventionnelle utilisant les recommandations vulgarisées sans encadrement rapproché. Par contre, dans le cas de la LEC, les rendements affichés dans ce tableau sont curieusement très inférieurs à ceux obtenus durant les quatre années de suivi réalisé dans le cadre du projet PADSE.

Tableau 13 : Données sur la production du coton biologique au Bénin (Matthess et al., 2005)

Campagne	Superficies (ha)	Production (tonnes)	Rendement moyen Kg/ha
1996-1997	23,7	8,3	372,0
1997-1998	45,0	19,7	438,5
1998-1999	129,0	137,9	332,0
1999-2000	108,6	58;1	508,0
2000-2001	196,8	84,5	424,0

Tableau 14 : Rentabilité de quatre systèmes culturaux cotonniers au Bénin, (Matthess et al., 2005)

Productivité et Marges	Zones de production				
	Nord	Nord-Centre	Centre	Sud	Bénin
cas du coton conventionnel calculé sur la base des itinéraires techniques recommandés					
Kg/ha	1.318	1.156	782	810	1.167
Marge brute	46.865	4.020	-42.421	-71.957	13.838
Marge nette	33.862	-11.431	-64.384	-91.806	-692
cas du coton conventionnel pour des producteurs avec encadrement rapproché					
Kg/ha	1.781	1.700	1.862	1.636	1.745
Marge brute	134.835	107.380	155.741	84.983	123.657
Marge nette	121.652	91.929	140.816	65.134	109.128
cas des producteurs LEC					
Kg/ha	1.386	1.325	1.221	-	1.358
Marge brute	59.574	35.919	28.951	-	50.332
Marge nette	46.391	20.468	14.026	-	36.304
cas des producteurs de coton biologique					
Kg/ha	-	-	491	417	
Marge brute	-	-	15.440	-17.840	12.778
Marge nette	-	-	9.440	-23.840	6.778

La culture biologique du coton qui représenterait le minimum d'impact sur l'environnement, ne peut donc être retenue comme une alternative satisfaisante, généralisable à l'ensemble de la périphérie du Parc.

L'aspect économique (prix du coton) est beaucoup plus favorable dans le cas du coton équitable (voir § 2.1.2.1. et 2.1.4.1.), lequel pourrait être un levier pour faire adopter de meilleures pratiques de production, ayant un impact environnemental moindre.

3.1.1.1.2. La lutte étagée ciblée (LEC).

L'évolution de la protection phytosanitaire en Afrique et l'intérêt des interventions sur seuil a fait l'objet de nombreuses publications (Cauquil et Vaissayre, 1994 ; Cauquil et Vaissayre, 1995 ; Vaissayre, 1999 ; Michel et al., 1999), le raisonnement des interventions permet de choisir les produits en fonction des ravageurs observés, donc d'utiliser les matières actives les plus adéquates, de réaliser des économies, d'améliorer les rendements et forme les producteurs.

Le nom de cette méthode se doit au fait que :

- C elle reçoit une protection de base avec des doses réduites par rapport à celles recommandées dans les programmes classiques, mais peut recevoir des traitements supplémentaires décidés après observation des parcelles : il y donc deux "étages" ou niveaux de protection
- C les traitements sur seuil sont ciblés, les produits à appliquer lors des traitements supplémentaires étant choisis sélectivement en fonction de la nature des ravageurs observés et pour lesquels le seuil d'intervention est atteint.

Le nom de LEC, qui correspond aux deux principes énoncés ci-dessus, a connu, depuis son début, de nombreuses adaptations suivant les époques et les pays. Il n'est pas possible de reprendre ici en détail toutes les variantes possibles, mais seulement d'évoquer les principaux points et les références bibliographiques permettant de mieux connaître ces variantes.

Initialement la LEC a été développée au Cameroun (Deguine et al., 1993 ; Deguine & Ekukole, 1994) où elle a été testée dès 1988 et vulgarisée progressivement depuis 1990 par la société cotonnière nationale, la SODECOTON. Les rendements obtenus étaient au moins aussi bons qu'en culture classique, avec des économies importantes réalisées sur les quantités d'insecticides épandues par rapport aux programmes classiques (de 32 à 50 % pour les pyréthrinoides, de 0 à 100 % pour les acaricides, de 18 à 54 % pour les aphicides).

C'est dans ce pays qu'elle a connu le plus important développement, mais la complexité des observations, la réalisation de celles-ci par des observateurs employés de la SODECOTON, la prise de décision à la charge de ces mêmes observateurs (problème de confiance des producteurs), l'introduction de programmes classiques plus économiques, l'emploi de fiches nécessitant d'être alphabétisés au lieu de l'utilisation des planchettes [pegboard], ont entraîné sa totale disparition.

Les principales variantes sont résumées par Michel et al., 1999 et reproduites ci-après :

- C Dans sa première version au Bénin (Vodounnon, 1995), au Cameroun (Deguine et al., 1993 ; Deguine & Ekukole, 1994) et en Guinée (Gérardeaux et Yombouno, 1997), les observations étaient réalisées la veille de chaque traitement du calendrier (j-1) et la pleine dose ou une dose réduite est appliquée à la date prévue, le lendemain, selon qu'un seuil est atteint ou non.
- C Au Mali (Michel et al., 1997), au Togo (Sonigbe, 1995) et au Burkina Faso (Hema, 1995), les observations sont faites sept jours après chaque traitement (j+7) et la demi-dose complémentaire est appliquée si nécessaire juste après la réalisation de l'observation.

Dans le premier cas, on intervient moins souvent d'où un gain de temps, mais il existe le risque que des applications espacées de 14 jours soient insuffisantes dans le cas de ravageurs au développement rapide, en particulier *Helicoverpa armigera*. Dans le second cas, ce risque n'existe pas car il est possible d'intervenir rapidement, chaque semaine, par contre la charge de travail est plus contraignante.

Dans toutes ces anciennes versions, la prise de décision intervenait dès le premier traitement.

Dans la version actuellement diffusée au Bénin, les deux premiers traitements ne sont plus sujet à une prise de décision. La résistance de *H. armigera* aux pyréthrinoïdes qui s'est manifestée pour la première fois avec des échecs lors des traitements dans les champs en 1998, est à l'origine de cette modification qui réduit de façon importante l'intérêt de la LEC du point de vue environnemental. Ce produit représente en effet à lui seul, 73,82 % du total de l'EIQ du programme de protection de base de la LEC actuelle dans le Nord du Bénin.

La méthode actuelle peut être résumée ainsi :

- C T1 et T2 à 45 et 59 jours après la levée : application fixe de 700 g d'endosulfan à chaque traitement
- C T3, T4, T5 et T6 (respectivement 73, 87, 101 et 115 jours après la levée) : application fixe d'une dose réduite d'insecticide, associant 17,5 g de cyperméthrine et 75 g de triazophos)
- C observations hebdomadaires de 31 à 122 jours après la levée
- C interventions sur seuil (après observation de 40 plants = deux diagonales de 20 plants)
 - < *Helicoverpa armigera* : seuil de 5 chenilles/ 40 plants, traitement avec 700 g d'endosulfan si à 31, 38 ou 52 JAL, avec 25 g d'indoxacarbe ou 48 g de spinosad entre 66 et 115 JAL
 - < autres carpophages : seuil de 10 chenilles / 40 plants, traitements avec 17,5 g de cyperméthrin, possible à 66, 80, 94, 108 et 112 JAL
 - < cumul des deux groupes précédent si aucun des deux n'est atteint individuellement : mêmes pratiques que pour les autres carpophages
 - < pucerons : seuil de 33 plants attaqués / 40 plants, traitement avec 8 g d'acétamipride de 94 à 122 JAL
 - < *Syllepte* : seuil de 10 plants attaqués / 40 plants, traitement avec 75 g de triazophos, possible à 66, 80, 94, 108 et 112 JAL.
 - < acariens : seuil de 3 plants attaqués / 40 plants, traitement avec 75 g de triazophos, possible à 66, 80, 94, 108 et 112 JAL.
- C depuis 2002 les produits utilisés sont les plus concentrés possibles ou correspondent à des standards commerciaux de firmes productrices pour avoir le moindre coût possible et ne sont pas subventionnés.

Les produits utilisés avant le démarrage du projet PADSE étaient subventionnés et leur concentration en matière active correspondait à l'utilisation d'un litre par hectare pour obtenir une pleine dose. L'apprentissage du dosage des produits au moyen de gobelets gradués fait donc partie de la formation prodiguée aux formateurs et producteurs.

Tous les détails de cette méthode sont présentés dans un référentiel technico-économique de la production agricole publié par l'INRAB (Prudent et al., 2006) destiné aux encadreurs et producteurs pour renforcer le développement de cette méthode.

Les principaux résultats sont disponibles dans les rapports publiés dans le cadre du projet PADSE (Prudent et al. 2001 a, 2001 b, 2003 et 2004). En résumé, on peut préciser que le seuil correspondant à Syllepte n'est jamais atteint, que celui correspondant aux acariens ne l'est que très rarement, seuls les pucerons, *Helicoverpa armigera* et les autres carpophages peuvent entraîner le déclenchement de quelques traitements supplémentaires par rapport au programme de protection de base. Mais tous ravageurs confondus, moins de 5 % des producteurs peuvent être amenés à réaliser 1 ou plusieurs traitements sur seuil.

Les rendements obtenus durant les quatre années du projet PADSE sont présentés dans le tableau 15, ci après.

Tableau 15 : Productivité en coton-graine des parcelles LEC et des parcelles témoins, suivies dans le cadre du projet PADSE.

Campagne	Rendement en coton-graine en Kg/ha								
	ALIBORI			BORGOU			COLLINES		
	LEC	Témoin	Gain	LEC	Témoin	Gain	LEC	Témoin	Gain
2000-2001	2.398	1.943	+ 455 = 23,4%	1.497	1.348	+ 149 = 11,1%	1.498	1.335	+ 163 = 12,2%
2001-2002	2.147	1.926	+ 221 = 11,5%	1.736	1.557	+ 178 = 11,5%	1.328	957	+ 371 = 38,8%
2002-2003	2.396	2.108	+ 288 = 13,7%	1.802	1.329	+ 473 = 35,6%	1.555	1.165	+ 390 = 33,5%
2003-2004	2.204	1.941	+ 263 = 13,5%	1.752	1.348	+ 404 = 30,0%	1.315	1.068	+ 247 = 23,1%
Moyenne	2.286	1.980	+ 306 = 15,5%	1.697	1.396	+ 301 = 21,6%	1.424	1.131	+ 293 = 25,9%

Les performances de la LEC au Bénin sont donc supérieures à celles présentées par Matthess et al. (2005). L'étude réalisée par Floquet et Mongbo (2003) fait état des rendements suivants : non LEC = 1439,9 Kg/ha ; LEC = 1230,9 Kg/ha ; gain = 209 Kg/ha. Cette même étude indique un effet économique nulle chez les producteurs ayant adopté récemment cette méthode, un gain économique important étant par contre noté chez les producteurs l'utilisant depuis plus de 2 ans (voir tableau 16, page suivante).

Tableau 16 : Effets de l'adoption de la LEC sur les marges brutes et la rémunération du travail consacré au coton (Floquet et Mongbo, 2003).

Paramètres	Non adoptants	Adoptants	
		récents	plus de 2 ans
Produit Brut (F CFA / ha)	216.828,9	198.770,8	286.160,8
Charges variables (F CFA / ha)	88.318,2	79.981,6	103.663,0
Marge brute (F CFA / ha)	128.878,6	118.789,1	183.070,2
Rémunération journalière du travail (F CFA / jour)	1.917,23	1.735,09	3.825,75

Enfin on peut signaler les résultats obtenus avec la LEC au Burkina Faso (Nibouche et al., 1998) :

Année	1992	1993
Programme classique Kg/ha	1.348 ± 68	1.079 ± 129
Programme LEC Kg/ha	1.536 ± 78	1.178 ± 113
Gain Kg/ha	+ 188	+ 99

Les économies en volumes de produit épandus s'élevaient à 44 % et 48 % respectivement pour ces deux années dans le cas des pyrèthrinoides, et 32 % et 44 % pour les organophosphorés.

Au Mali, les gains obtenus semblent plus réduits (Michel et al., 2000) :

Kg/ha moyenne zones CMDT :	1.085	1.213	1.083	1.068
Kg/ha moyenne villages LEC :	1.173	1.128	1.139	1.077

Le développement de la LEC de façon généralisée dans les zones cotonnières bordant la périphérie du Parc W peut donc être considéré comme un moyen efficace de réduire l'EIQ lié à cette culture. Il convient enfin de mentionner le projet CMIA, travaillant activement au développement de la LEC, justement dans l'Atacora et dans des zones proches du Parc. Une forte demande est manifestée par les producteurs pour sa généralisation, 18.000 hectares ayant été réalisés durant la campagne 2007-2008

Le problème lié à l'emploi de l'endosulfan sera abordé dans le paragraphe 3.1.1.2. de ce rapport.

3.1.1.1.2. La lutte sur seuil au Mali (TS) et la LOIC au Cameroun.

Ces deux méthodes, contrairement à la LEC, n'utilisent aucune protection minimale de base, mais seulement des traitements réalisés sur seuil qui sont décidés en fonction des résultats des observations.

Elles présentent donc plus de risques et dans une première étape, la LEC peut permettre aux producteurs d'apprendre à reconnaître les ravageurs, en limiter les possibilités de pertes pouvant décourager les producteurs.

C La lutte sur seuil au Mali (ou Traitement sur Seuil : TS)

Peu d'informations ont pu être obtenues concernant la lutte sur seuil (ou TS = traitements sur seuil) développée au Mali. Il n'est donc pas possible d'en décrire précisément la méthode de mise en oeuvre qui semble avoir évolué.

Les études actuelles (Renou, 2007) portent sur le réajustement le seuil de décision concernant les chenilles carpophages. Le seuil actuel correspond à 20 chenilles sur 100 plants (5 sur 25 plants), la proposition est de le réduire à 12 chenilles sur 100 plants (3 sur 25 plants). En effet, la rentabilité économique de la recommandation actuelle est supérieure à la production classique jusqu'à un potentiel de productivité d'environ 1.800 Kg/ha. La réduction de ce seuil d'intervention devrait être appliqué pour des champs ayant un potentiel de productivité supérieur à 1.500 Kg/ha.

Seule l'évolution des surfaces mises en oeuvre par les paysans a pu être obtenue ⁽¹⁾ : Anonyme, 2005 ; ⁽²⁾ : Ton, 2006) :

C 2002-2003 ⁽¹⁾ :	2.515 ha
C 2003-2004 ⁽¹⁾ :	6.297 ha
C 2004-2005 ⁽¹⁾ :	8.688 ha
C 2005-2006 ⁽²⁾ :	15.133 ha (3 % de la surface totale cultivée en coton)

Ces deux sources précisent que les rendement moyens obtenus sont semblables à ceux de la protection conventionnelle utilisant 6 traitements à date fixe et Ton (2006) indique une réduction des volumes d'insecticides utilisés de l'ordre de 50 à 70 %.

C La Lutte sur Observation Individuelle des Chenilles (LOIC) au Cameroun.

Cette méthode a été récemment développée au Cameroun. Elle utilise les mêmes produits que ceux utilisés en protection conventionnelle (LPD = Lutte Pré-Déterminée), lesquels sont définis de façon très strict au Cameroun en tenant compte des périodes de l'année et des zones de production.

Le tableau 17 (page suivante) présente les intervalles de date correspondant aux 9 traitements pouvant au maximum être réalisés en protection conventionnel.

Tableau 17 : Correspondance entre les numéros d'ordre des traitements de la LPD et les intervalles de dates durant lesquels ils peuvent être appliqués (Cameroun)

N° Traitement	Intervalle de dates	N° Traitement	Intervalle de dates
1 *	du 01/07 au 14/07	6	du 09/09 au 22/09
2	du 15/07 au 28/07	7	du 23/09 au 06/10
3	du 29/07 au 11/08	8 * *	du 07/10 au 20/10
4	du 12/08 au 25/08	9 * * *	du 21/10 au 04/11
5	du 26/08 au 08/09		
*	Traitement exceptionnellement possible en cas de semis très précoces, ex : un semis réalisé le 20 mai atteindra le 45 ^{ème} après la levée approximativement le 10 juillet		
* *	Uniquement dans les régions de Garoua, Ngong, Mayo-Galké et Touboro en années normales		
* * *	Exceptionnellement dans les mêmes régions		

Le tableau 02 (ci-dessous) précises quels produits seront utilisés en LPD au Cameroun pour la campagne 2007-2008.

Tableau 18 : Types de traitements, matières actives et dosages correspondants (campagne 2007-2008, Cameroun).

Type	Matière Active			g de m.a. / ha	Ravageurs ciblés
a	ou		endosulfan	375	Chenilles carpophages attaquant les boutons floraux, fleurs et capsules : <i>Diparopsis</i> , <i>Earias</i> et <i>Helicoverpa</i>
			malathion	880	
			thiodicarbe	375	
b	ou	+	cyperméthrine	36	Chenilles carpophages
			profenofos	150	Acariens et <i>Syllepte</i> , <i>Anomis Spodoptera</i>
		+	cyperméthrine	36	Chenilles carpophages
			triazophos	150	Acariens et <i>Syllepte</i> , <i>Anomis Spodoptera</i>
c	acétamipride			20	Aleurodes = Mouches blanches = <i>Bemisia</i>
d	ou		endosulfan	500	Chenilles carpophages attaquant les boutons floraux, fleurs et capsules : <i>Diparopsis</i> , <i>Earias</i> et <i>Helicoverpa</i>
			thiodicarbe	500	
			indoxacarbe	25	
e	acétamipride			10	Uniquement à la demande contre pucerons

Enfin le tableau 19 ci-dessous, explicite pour les intervalles de date déjà mentionnés, et en fonction des régions de production, quels produits de la liste présentée dans le tableau 18 peuvent être utilisés.

Tableau 19 : Types de traitements à appliquer par fenêtre calendaire selon les zones de culture (campagne 2007-2008).

N° Trai t	Intervalle calendaire	Régions			
		Maroua, Kaélé, Tbali & Guider	Garoua & Ngong	Mayo-Galké	Toubooro
1	01/07-14/07	b	b	b	b
2	15/07-28/07	a	a	a	a
3	29/07-11/08	a	a	a	a
4	12/08-25/08	b	b	b	b
5	26/08-08/09	b	b	b	c
6	09/09-22/09	d	d	d	d
7	23/09-06/10	b	d	b	c
8	07/10-20/10	(b)	b	b	b
9	21/10-04/11		(b)	(b)	(b)

Cette nouvelle technique de lutte raisonnée a démarré durant la campagne 2006-2007 avec quatre groupements de producteurs (un cinquième ayant abandonné). Seuls des producteurs volontaires participent à ce projet de développement.

Chacun reçoit une plaque d'identification présentant la photographie des trois espèces prises en compte (*H. armigera*, *Earias* spp., *Diparopsis watersi*) (voir annexe 1) ainsi qu'une planchette de décision (voir annexe 2). Aucun traitement fixe n'est réalisé, tous sont décidés en fonction du résultat des observations. Ces observations commencent, comme pour les traitements de la LPD, avec l'apparition des boutons floraux. Elles sont réalisées toutes les semaines, la veille de la date prévue pour un traitement.

Pour réduire le temps de travail, le système de décision repose sur un échantillonnage séquentiel. Un maximum de 25 cotonniers peut être observé, pris au hasard sur la diagonale de la parcelle. La planchette est divisée en trois zones, une blanche et deux de couleur (rouge ou verte). Le clou ou bâtonnet est avancé horizontalement d'un trou à chaque cotonnier observé et verticalement d'un trou à chaque chenille observée. Dès que la zone verte est atteinte, le comptage est suspendu et aucun traitement n'est réalisé. Dès que la zone rouge est atteinte, un traitement doit être réalisé. Tant que le résultat reste dans la zone blanche, les observations continuent jusqu'à atteindre 25 cotonniers. Dans ce cas, le producteur fait le choix de traiter ou non. Lorsque qu'ayant atteint le 10^{ème} cotonnier, trois chenilles ont été observées, il n'est plus possible d'atteindre la zone verte, soit le marqueur restera dans la zone blanche soit la zone rouge sera atteinte. Dans ce cas, certains producteurs décident directement de traiter. Mais dans tous les cas, le producteur présente la planchette avec le résultat à l'agent de suivi qui est un planteur choisi par le groupement.

Les produits utilisés sont les mêmes que pour la LPD, mais ils ne sont jamais utilisés à une dose réduite. Ainsi l'endosulfan et le thiodicarbe sont utilisés à la dose de 500 g./ha, jamais à celle de 350 g./ha. Le choix des matières actives respecte le principe des fenêtres présenté dans le tableau N° 03. Dans le cas de paysans produisant du coton équitable, seul est employé l'indoxacarbe à la dose de 25 g./ha pour les traitements de type "a" ou de type "d".

La possibilité de traiter deux semaines de suite n'est pas exclue. Cette éventualité s'est produite en particulier durant la campagne 2007-2008, avec les populations de *D. watersi* durant les fenêtres utilisant de l'indoxacarbe, matière active peu efficace contre ce ravageur. La possibilité d'utiliser un pyréthrianoïde durant les fenêtres pour lesquelles sont prescrits l'endosulfan ou l'indoxacarbe, et lorsque *D. watersi* est l'espèce dominante, est envisagée depuis ce constat.

Les traitements contre les pucerons ou les aleurodes, sont décidés, comme dans le cas de la LPD, si leur présence apparaît dangereuse, sans pour autant faire référence à un seuil en particulier.

L'agent de suivi note :

- < le nombre de cotonniers observés
- < le nombre de chenilles observées
- < la décision prise par le planteur.

Les résultats obtenus jusqu'alors indiquent que les décisions prises par les planteurs sont correctes dans environ 99 % des cas.

Le tableau 20 résume les principaux résultats (Achaleke et al., 2007). L'utilisation de la LOIC n'occasionne pas de pertes de rendements (au contraire), suivant les régions le nombre de traitements est réduit, parfois il augmente, en particulier à Badjengo où la pression des ravageurs a été forte, mais le rendement est amélioré.

Tableau 20 : Résultats de l'expérimentation LOIC 2006-2007 au Cameroun : effectifs des producteurs par zone et par méthode de protection, nombre moyen de traitements réalisés et productivité en coton graine

	Badjengo		Badjouma		Mindjiwa		Sarwa	
	LOIC	LPD	LOIC	LPD	LOIC	LPD	LOIC	LPD
Nb Prod	64	107	111	86	94	45	54	60
Nb Trt	9,9	5,9	7,7	5,6	5,1	5,5	4,7	5,7
Rdt Kg/quart	324,7	254,0	347,0	317,1	262,8	213,6	290,9	298,5
Rdt Kg/ ha	1 299	1 016	1 388	1 268	1 051	854	1 164	1 194
N.B. : Nb Prod = nombre de producteur (taille de l'échantillon) ; Nb Trt = nombre moyen de traitements effectivement réalisés ; Rdt Kg/ quart = rendement moyen en coton-graine par "quart" Rdt Kg/ha = conversion du précédent à l'hectare.								

3.1.1.2. Les alternatives à l'endosulfan.

La sensibilité de *Helicoverpa armigera* aux pyréthrinoïdes en Afrique de l'Ouest fait l'objet d'un suivi au moyen de tests de laboratoire depuis 1985 (Martin et al., 2000). Ces tests ont révélé les premiers indices d'un début de résistance en 1996, quelques premiers échec lors de traitement dans les champs étant signalés cette même année.

Au Bénin, la perte d'efficacité des traitements avec des pyréthrinoïdes a été constatée la première fois en 1998, avec parfois une destruction quasi totale de la production.

Depuis 1999, l'endosulfan a été réintroduit en culture cotonnière, pour être utilisé lors des deux premiers traitements, dans pratiquement tous les pays de la sous-région. L'objet de ces traitements est d'éliminer les premières populations s'installant dans les champs de coton, sans sélectionner les individus résistants aux pyréthrinoïdes.

Ainsi a été introduit ce produit qui, comme cela a été signalé, représente 73, 83 de l'EIQ du programme de protection minimale en LEC au Nord Bénin, 70,91 % de l'EIQ du programme classique utilisé en 2005-2006 dans le Nord du Bénin et 46,22 % de l'EIQ du programme classique utilisé en 2002-2003 toujours dans le Nord du Bénin (Tableau 21 du premier rapport, Guibert et Prudent, 2005).

Il convient de signaler grâce à cet exemple, combien le choix des matières actives lors de l'élaboration des programmes de traitement, peut jouer un rôle important sur un indice d'impact comme l'EIQ. La différence observée entre les campagnes 2002-2003 et 2005-2006 dans le cas de l'endosulfan provient de la décision, prise entre-temps, de supprimer l'utilisation du diméthoate pour le remplacer par un nouvel aphicide, l'acétamipride. Deux des six traitements réalisés annuellement au Bénin utilisant un aphicide, ce changement de matière active a fortement réduit alors l'EIQ total :

	EIQ ⁽¹⁾	g / ha et / traitement	traitements / an	EIQ/an
C diméthoate :	74,00	300	2	44.400
C acétamipride :	26,88	8	2	430

N.B. : ⁽¹⁾ valeurs actualisées de l'EIQ, voir annexe 06.

Après avoir traité le sujet des programmes de lutte raisonnée pouvant permettre de réduire l'EIQ de la culture cotonnière, en diminuant les masses de produits épandues par hectare et par cycle de production, il s'agit d'envisager le choix de matières actives pouvant être utilisées en remplacement de l'endosulfan, produit ayant l'impact le plus important dans les programmes actuels.

Il n'est pas possible de passer ici en revue l'ensemble des essais conduits dans la sous-région, voire seulement au Bénin, pour discuter des résultats obtenus concernant l'efficacité des produits testés.

Le tableau 21, ci-dessous indique l'EIQ de diverses matières actives, pour deux traitements aux doses testées au Bénin.

Tableau 21 : EIQ des deux premiers traitements avec quelques matières actives alternatives à l'endosulfan en tenant compte de leur dosage.

Matière active	EIQ m.a. (1)	G. / ha et traitemnt (2)	EIQ traitements T1 & T2 (1) x (2) x 2
thiodicarbe	23,30	750	34.950
malathion	23,83	880	41.941
acephate	23,40	1000	46.800
indoxacarbe	43,00	25	2.150
spinosad	17,70	48	1.699
endosulfan	42,10	700	58.940
acétamipride	26,88	8	2.181
+ novaluron	11,67	75	

L'EIQ pour ces deux premiers traitements avec les matières actives anciennes, qui s'utilisent à des dosages élevés, n'apportent pas vraiment d'amélioration par rapport à l'endosulfan (thiodicarbe, acéphate, malathion). Dans le cas du Bénin, l'emploi d'indoxacarbe ou de spinosad en début de campagne, s'est toujours traduit par une chute de rendement par rapport à l'endosulfan.

Depuis plus de cinq campagnes, le Bénin a expérimenté plusieurs alternatives associant un IGR (lufenuron ou novaluron ou triflumuron) avec un néonicotinoïde (acétamipride, imidachlopride, thiachlopride ou thiametoxam) (différentes combinaisons et dosages ayant été testés).

Une de ces associations a pu être testée dans un dispositif en milieu paysan à grande échelle avec l'aide du projet Cotton Made In Africa (53 parcelles couples). Les deux premiers traitement sont réalisés avec de l'endosulfan à 700 g/ha sur la moitié d'une parcelle d'un hectare, l'autre demi-hectare recevant une association de novaluron (75 g/ha) et d'acétamipride (8 g./ha). Les quatre deniers traitements, ainsi que toutes les autres pratiques agricoles, sont les mêmes dans tout le champ. Les résultats obtenus sont présentés dans le tableau 22, en page suivante.

Tableau 22 : Rendement en coton-graines dans l'essai comparatif (novaluron 75 g/ha + acétamipride 8 g/ha versus endosulfan 700 g/ha), campagne 2006-2007, projet CMIA.

	Pehunco		Kérou		Djougou		Moyenne	
	nov+ace	endo	nov+ace	endo	nov+ace	endo	nov+ace	endo
Nb Réps	18		16		19		53	
Rdt Kg/ ha	1.464	1.235	1.716	1.250	1.428	1.123	1.528	1.200
Différence	229		466		305		328	
N.B. : Nb Réps = nombre de répétitions ou parcelles couples par village ; Rdt Kg/ha = production de coton-graine en Kg/ha ; nov + ace = novaluron 75 g/ha + acétamipride 8 g/ha ; endo = endosulfan 700 g/ha								

Une alternative est donc déjà identifiée au Bénin, permettant de diviser l'EIQ correspondant aux deux premiers traitements par 27 (2.181 pour cette alternative 58.940 pour l'endosulfan), tout en permettant un gain de rendement. Ces résultats n'ont pas encore été soumis à une analyse statistique, attendant encore ceux de la campagne 2007-2008. La formulation binaire prête à l'emploi permettant d'obtenir le dosage adéquat pour ces deux matières actives reste encore à homologuer.

Cependant, une autre alternative va être utilisée à grande échelle au Bénin dès la campagne 2008-2009, le Tihan 175 O-TEK (flubendiamide 100 g/l + spirotetramate 75 g/l), à la dose de 0,2 l de PC par hectare et par traitement, soit 20 g/ha de flubendiamide + 15 g/ha de spirotetramate. Ces matières actives étant récentes, leur EIQ n'a pas encore été calculé et cet indice ne peut donc être utilisé pour en estimer l'impact environnemental. Il est seulement possible de préciser que le spirotetramate, qui appartient au groupe des dérivés de l'acide tetramic (ketoenoles), est peu toxique pour les mammifères (DL50 dermale et orale pour le rat > 2000 mg/Kg), pour les abeilles et les vers de terre selon les informations disponibles. Son profil toxicologique est donc déjà bien meilleur que celui de l'endosulfan. Ces informations n'ont pas encore été obtenue pour le flubendiamide.

L'endosulfan ne sera plus du tout utilisé au Bénin à partir de 2009-2010.

3.1.2. Possibilités de réduire les transferts depuis les champs vers l'environnement.

Les possibilités de réduire l'impact propre aux traitements phytosanitaires (doses de matière active et sélection de matières actives ayant un EIQ réduit) ayant été envisagées, il s'agit maintenant d'aborder les problèmes de transfert hors de la parcelle cultivée. Deux facteurs majeurs sont à considérer : les transferts lors de l'application (essentiellement par dérive aérienne) et les mouvements post-application (essentiellement le transport par ruissellement).

Le rapport de l'expertise réalisée par l'INRA et le CEMAGREF (Aubertot et al., 2005) est la source principale utilisée pour documenter la question du transfert des pesticides vers l'environnement (voir Schémas extrait de ce document, en annexe 22)

Les pourcentages de matière active qui n'atteignent pas leur cible peuvent être très importantes : 10 à 70 % sont perdus vers le sol (Jensen, 2003), 30 à 50 % perdus dans l'atmosphère sous forme de gouttelettes ou de gaz (Van Den Berg et al., 1999).

Les facteurs influençant ces pertes sont détaillés (taille et vitesse des gouttes = géométrie des buses, caractéristiques physiques des produits pulvérisés, conditions ambiantes, influence des adjuvants sur taille des gouttes, l'étalement de la bouillie sur les plantes,.....)

3.1.2.1. La dérive aérienne lors des traitements.

Deux approches sont possibles pour mesurer les pertes par dérive (Aubertot et al., 2005) :

- C l'estimation de la différence entre la quantité sortant du pulvérisateur et celle qui arrive sur la cible (plante + sol), cette première approche inclut l'ensemble des pertes, soit ce qui part vers l'atmosphère (passage en phase gazeuse, ou sous forme particulaire) plus ce qui part en dehors de la parcelle (il est nécessaire de mesurer ce qui est dans la parcelle et dans sa périphérie à l'extérieur).
- C l'estimation des quantités déposées à côté de la parcelle.

A l'échelle du parc, la seconde approche est la plus importante.

Selon auteurs la compréhension de la dispersion des gouttelettes, de leur dépôt et de leur évaporation est difficile en terme de mesure et de modélisation, trop de paramètres étant impliqués :

- C la taille des gouttelettes, elle même dépendante de :
 - < la technique d'application,
 - < la formulation,....
- C de leur évaporation, elle même dépendante des adjuvants,....
- C du vent
- C de la stabilité atmosphérique
- C de la vitesse du tracteur
- C de la hauteur de la rampe,....

Dans les conditions de la culture cotonnière au Bénin, l'existence d'une seule technique de pulvérisation, les appareils électriques à disque rotatif (TBV), élimine déjà divers facteurs.

Au niveau expérimentale, les nombreux travaux existants sont le plus souvent basé sur l'utilisation de traceurs et de systèmes de collecte passifs ou actifs, mais des études ont aussi utilisé la mesure de la concentration des pesticides à certaines distances du champ d'application.

3.1.2.2. Les transferts post-application

Aubertot et al. (2005) signalent que la dispersion de la phase gazeuse issue de la volatilisation et des dépôts secs peut être très importante à l'échelle locale (< 1 Km). Les dépôts gazeux des pesticides à proximité des zones traitées peut atteindre des niveaux de grandeur identiques voire supérieurs à ceux provoqués par la dérive lors du traitement. Mais la proposition de solutions à cet aspect des transports hors de la parcelle ne paraît guère possible.

Aussi seul les transferts hydrologiques seront considérés, surtout ceux liés aux eaux de surface. Les produits phytosanitaires transportés dans ces eaux peuvent provenir des dépôts ayant atteint le sol lors des traitements et du lessivage foliaire par les pluies.

Aubertot et al. (2005) font état de l'existence de diverses synthèses traitant de ce sujet (Leonard, 1990 ; Schiavon et al., 1995 ; Flury, 1996). Ils soulignent que hormis les phénomènes de dérives durant les traitements, l'ensemble de voies de transport des substances phytosanitaires partent ou transitent par le sol. C'est le cas des produits appliqués directement sur le sol, mais cela concerne aussi la partie des produits d'application foliaire, dont une partie rejoint directement le sol lors du traitement en traversant le feuillage et dont une autre partie rejoint le sol lors du lessivage foliaire.

Ces auteurs signalent que le transfert des pesticides hors des parcelles agricoles peut s'opérer par quatre voie, celle par volatilisation déjà évoquée, et trois aquatiques :

- C le ruissellement de surface : il est provoqué soit par des pluies d'une intensité dépassant la capacité d'infiltration du sol, soit par saturation d'un sol situé au dessus de niveaux inférieurs peu perméables. Il lave la couche de surface du sol, fortement chargée en matières actives et aboutit aux contamination de l'eau les plus fortes. Les concentrations en MA peuvent dépasser un mg/l, les masses de MA déplacées pouvant atteindre plusieurs § dans quantités présentes dans le sol.
- C le drainage artificiel des sols par des drains enterrés : en général d'un ordre de grandeur inférieur à celui du ruissellement, ce cas est rare ou inexistant dans la zone nous concernant.
- C les flux de percolations à travers le sol : ils produisent des contaminations faibles en concentration, souvent proches de quelques µg/l (voire moins).

Les pesticides peuvent se retrouver dans l'eau de ruissellement soit sous forme dissoute, soit adsorbés sur les matières en suspension (M.E.S.). La part relative de ces modes de transport dépend de deux facteurs :

- C les propriétés d'adsorption des matières actives sur les particules solides, qui à leur tour dépendent des propriétés chimiques des MA et des caractéristiques des M.E.S. (en particulier la teneur en matière organique)
- C la charge en M.E.S. dans les eaux de ruissellement.

Le transport sous forme dissoute est généralement le plus important (Leonard, 1990).

Les quantités transportées dépendent de la disponibilité au transfert des MA dans le sol. Celle-ci dépend du stock présent dans le sol, qui évolue en fonction de la dégradation des molécules, mais aussi de l'intensité de la rétention.

3.1.2.3. Propositions de méthodes visant à réduire ces transferts.

3.1.2.3.1. L'emploi d'adjuvants.

Ces produits améliorent significativement l'efficacité des produits et la persistance des traitements. Cela signifie qu'ils fixent les matières actives sur le feuillage donc en réduisent la libération depuis le feuillage vers l'environnement (sans précision si l'effet joue sur leur évaporation ou leur lessivage), mais qu'ils permettent aussi de réduire les quantités épandues, un même effet étant obtenu avec une moindre dose. Le Zipper®, du groupe des trisiloxanes, améliore ainsi significativement les résultats obtenus avec l'abamectine et la cyromazine contre *Liriomyza trifolii* sur chrysanthèmes et gerberas (Dirske, 2004), ainsi que ceux de la pymetrozine contre *Aphis frangulae* en culture de pommes de terre (Dirske et Koeckoven, 2004).

3.1.2.3.2. L'emploi de haies et/ou zones tampons

Les haies en provoquant une augmentation de l'horizon organique, d'autant plus importante que l'on s'en approche (Walter et al., 2003), créent une zone de rétention des pesticides (Aubertot et al., 2005). Toujours selon Walter et al. (2003), l'augmentation en matière organique au niveau des haies est d'autant plus importante que la haie est perpendiculaire au sens des écoulements (car provoquant une sédimentation des particules érodées à l'amont).

La haie représente aussi un outil limitant la dérive très efficace par divers auteurs (Pergher, 1995 ; Longley, 1997 ; Brown et al., 2004). Des études comparatives montrent une diminution des dérives par les haies, se situant entre 70 et 90 % suivant leur développement foliaire (Van de Zande, 2004.).

Si cela est possible, la connexion des haies entre elles, afin de former un réseau bocager, renforce leur effet (limitation du ruissellement, refuge pour la faune auxiliaire,...) (Aubertot et al., 2005).

La SOCOMA a retenu le *Ziziphus mucronata* pour la constitution de haies vives au niveau des parcelles SCV.

Au Cameroun, le Projet ESA a développé des essais de haies vives avec diverses espèces : *Acacia polyacantha*, *Acacia nilotica*, *Acacia senegalensis*, *Ziziphus mauritania* et *Ziziphus mucronata*.

Les appréciations fournies par les responsables de ce projet peuvent être résumées comme suit :

- ☞ *Z. mucronata* : fournit les haies qui ferment le mieux et donc formeraient un bon obstacle contre la dérive lors des traitements, il se régénère aussi seul et assez rapidement en cas de feu de brousse
- ☞ *Z. nilotica* : s'adapte mieux à des sols plus variés
- ☞ *A. polyacantha* : s'étale rapidement, nécessite une taille rapide, car il a un développement vertical important, il a de fortes et longues épines le protégeant contre le bétail mais pouvant être blessantes pour l'homme
- ☞ *Z. mauritania* : très voisin de *Z. mucronata*, il fournit cependant un couvert végétal fermant moins bien

Deux autres espèces sont aussi en expérimentation au Cameroun : *Jatropha curcas* et *Jatropha gossypifolia*. Dans ce cas, l'objectif prioritaire actuel pour ces deux espèces est la diversification des cultures et la production de biocarburant. Ces plantes sont traditionnellement utilisées dans le pays Toupouri pour constituer des haies. Elles couvrent bien et pourraient être efficace contre la dérive aérienne. Elles ne sont pas consommées par le bétail, ne sont pas sensibles aux feux de brousse, peuvent fournir un revenu (carburant : commercialisation organisée ou usage pour des groupes électrogènes villageois), et enfin l'huile brute de *J. curcas* possède des vertus insecticides (Stoll, 2002)

3.1.2.3.3. Les semis sous couverture végétale SCV et autres pratiques améliorantes du sol.

Aubertot et al. (2005) estiment que la présence d'un couvert végétal modifiant les conditions locales, on peut penser que ces modifications vont avoir des conséquences sur les transferts par volatilisation depuis la parcelle jusque vers l'environnement. Ils pensent aussi que ce couvert est susceptible d'absorber une partie du composé volatilisé, mais indiquent qu'à leur connaissance très peu de travaux traitent de ce sujet.

Aubertot et al. (2005) soulignent l'importante corrélation entre la rétention d'un sol et sa teneur en matière organique. Cette rétention évite que les MA migrent avec l'eau hors de parcelles, mais des MA trop fortement adsorbées peuvent voir leur dégradation ralentie.

Cette dégradation peut se faire par deux voies, des transformations biotiques, d'autres abiotiques, la plupart du temps les deux intervenant de façon complémentaire.

Ces mêmes auteurs signalent que l'amélioration de la structure du sol et de sa teneur en matière organique joue un rôle positif sur l'infiltration, la rétention et la dégradation des pesticides.

Le développement de ces techniques ayant déjà été abordés dans les rapport précédents (Guibert et Prudent, 2006 ; Baudron 2007) (méthodologie et avantages agronomiques), il n'y est donc fait référence que comme moyen supplémentaire pour limiter les transferts de pesticides hors des parcelles vers l'environnement extérieur.

Les semis sous couverture végétale modifie fortement la microfaune et macrofaune du sol, en particuliers les arthropodes. L'effet de ces modifications sur la culture cotonnière, en particulier au moment des semis et de la levée, est sujet à discussion. Bikay Bi (2005) ne trouve pas d'effets négatifs significatif sur la densité de la culture, alors que Brévault et al. (en préparation) mesure un effet fortement significatif et négatif de ces arthropodes (les millipèdes en particulier) sur les plantules de cotonnier. Dans cet essai, il apparaît nécessaire d'associer aux SCV, l'utilisation de traitements de semences, le problème étant de chercher des alternatives protégeant efficacement les plantules sans avoir un effet trop négatif sur la faune utile.

3.1.2.3.4. Un renforcement de la formation des producteurs aux bonnes pratiques lors des traitements.

La réalisation des traitements phytosanitaires doit respecter les principales recommandations concernant les bonnes pratiques lors de cette opération, essentiellement :

C ne pas traiter lorsqu'une menace de pluie existe :

En effet, Aubertot et al. (2005) rappellent que le facteur le plus important dans la disparition des produits phytosanitaires sur le feuillage est le lessivage par la pluie, si du moins celle-ci intervient peu de temps après le traitement (références à : Somers & Thomas, 1956 ; Smith et al., 1981 ; Willis et al., 1985, 1986, 1988 ; Willis, 1992).

L'importance du lessivage foliaire dépend de divers paramètres, comme la nature chimique du pesticide, le temps écoulé entre le traitement et le début de la pluie, de l'intensité et de la durée de celle-ci.

Parmi ces paramètres, la nature du pesticide peut faire l'objet d'une appréciation lors de l'élaboration des programmes de protection, donc très en amont de la problématique au niveau de la parcelle. L'intensité et la durée de la pluie sont incontrôlables. Le délai entre l'application du traitement et le début de la pluie est fréquemment évoqué comme un paramètre très important (plus ce temps est court, plus le lessivage est important) (Smith et al., 1981, Pick et al. 1984 ; Willis et al., 1988, 1994).

Il est donc nécessaire d'insister sur ce point auprès des producteurs.

C respecter les plages horaires de traitement (température, stabilité du vent, pas d'inversions thermiques).

Pour que les traitements avec un appareil TBV soient correctement réalisés, il est recommandé de se limiter aux plages horaires de 09H00 à 11H00 le matin et de 16H00 à 18H00 l'après-midi. Il faut en effet éviter les périodes de fortes températures augmentant l'évaporation des gouttes et donc la dérive atmosphérique, les périodes de vent excessif ou de risque d'inversion thermique (période de conditions atmosphérique très calme, les gouttelettes restant en suspension très longtemps dans l'air y formant un nuage stable).

C ne pas contaminer les eaux avec le lavage des appareils et récipients

3.1.2.3.5. Les traitements de semences.

Aubertot et al. (2005) signalent que des transferts, lors de l'emploi de granulés appliqués dans le sol ou de semences traitées, peuvent avoir lieu sous forme d'émission de particules dans l'atmosphère. Ils considèrent, par contre, que leur incorporation dans le sol réduit à priori les pertes dans l'air.

Cet aspect est à prendre en compte lors de l'élaboration des programmes de protection et peut faire l'objet d'études pour valider ceux-ci. L'amélioration des traitements de semence (dont on suppose donc que la mobilité est réduite) pourrait permettre de réduire les applications foliaires en début de campagne.

Gil et sinfort, 2005 présentent une revue bibliographique sur les émissions de pesticides dans l'air lors de traitements, dans laquelle sont en particulier évoqués les marqueurs (traceurs et cibles) pouvant être utilisés lors d'études portant sur la dérive lors des applications. Ces méthodes seront pas rapportées en détail ici. Divers articles cités dans ce rapport, comme Longley et al., 1996, proposent des méthodologies détaillées pour étudier les dérives.

3.2. Revue rapide des mesures d'impact à mettre en oeuvre pour évaluer les domaines d'intervention envisagés.

Ce chapitre a pour objectif de faire brièvement la revue de quelques paramètres et indicateurs pouvant servir à évaluer les propositions évoquées comme méthodes ou stratégies devant permettre de réduire l'impact de la production agricole sur l'environnement. Il s'agit surtout d'établir une liste de références pouvant être consultées pour l'élaboration de protocoles complets si une opportunité se présente pour les mettre en oeuvre.

3.2.1. Populations ou groupes taxonomiques pouvant être retenus comme indicateurs.

Plusieurs indicateurs ont déjà été passés en revue dans le paragraphe 2.2.3. traitant de la qualité des sols et les paramètres influençant celle-ci et son évolution, revue bibliographique.

Certains éléments de la faune du sol sont souvent mentionnés parmi les plus pertinents :

CBikay Bi (2005) : prédominance des araignées, *Carabidae* et *Staphylinidae*

CRameil & Viaux (2005) : prédominance des araignées, *Carabidae* et *Staphylinidae*

CBiaou et al. (2003) : vers de terre

3.2.2. Quelques méthodes de piégeage ou de prélèvement applicables à ces indicateurs.

Les techniques utilisées

Cpièges enterrés, dit de "Barber" : Bikay Bi (2005), Viaux & Rameil (2004)

Céchantillonnage de "monolithes" de sol : Anderson et Ingram (1993)

4. Conclusions.

La culture cotonnière semble acceptée dans la zone bordant la périphérie du Parc, si ses effets néfastes sur l'environnement sont réduits par rapport à son mode de production actuel. La production strictement biologique n'apparaît pas comme une alternative économiquement satisfaisante. L'option "coton équitable" qui permet une bonne rémunération, tout en gardant une productivité élevée, est de loin préférable. Elle permet cependant d'exiger aux producteurs le respect d'un minimum d'exigence pouvant aider les encourager à de meilleures pratiques. Le programme "Biodiversité" développé par la SOCOMA propose déjà un ensemble de pratique pouvant fortement aider à réduire l'effet négatif de la culture cotonnière sur l'environnement (essentiellement SCV et "haies vives"). Les informations déjà réunie sur la contamination environnementale par les organochlorés a été complétée, en particulier pour l'eau et le maraîchage. La qualité des sols et les paramètres ont été largement développés dans le paragraphe 2.2.3., car essentiels tant pour comprendre cette qualité, comment la mesurer mais aussi la conserver. Les mesures pouvant être proposées pour réduire l'impact du coton sur son environnement se sont limités à l'aspect phytosanitaire, soit comment réduire l'EIQ en diminuant les quantités de matières actives épandues et en n'utilisant que des MA ayant un EIQ faible, puis comment réduire les transferts des parcelles cultivées vers leur environnement, soit en réduisant les dérives aériennes lors des traitements, soit en réduisant les transferts hydrauliques. Les

options envisagées sont l'emploi de méthodes de lutte raisonnée, le remplacement de l'endosulfan (obligatoire car interdit) par d'autres MA en choisissant celle ayant le moindre EIQ. Pour réduire les dérives aériennes et les transferts hydrauliques, ont été envisagés l'emploi d'adjuvants, le développement de "haies vives", les SCV, la formation des producteurs au respect des bonnes pratiques lors des traitements, l'utilisation de traitement de semences.

Bibliographie consultée

- Amarger N., 1980. Aspect microbiologique de la culture des légumineuses. Le sélectionneur français, 28 : 61-66.
- Acta, 1998. Index phytosanitaire, 34ème édition. Association de Coordination Technique Agricole, Paris, France : 598 pp.
- Aubertot J.N., Barbier J.M., Carpentier A., Gril J.J., Guichard L., Lucas P., Savary S., Savini I., Voltz M. (éditeurs), 2005. Pesticides, agriculture et environnement. Réduire l'utilisation des pesticides et limiter leurs impacts environnementaux - Chapitre 3 : devenir et transfert des pesticides dans l'environnement et impacts biologiques (coordinateur M. Voltz). Rapport d'expertise scientifique collective, INRA et Cemagref, France : 219 pp (+ bibliographie 60 pp).
- Anonyme, 2005. Le traitement sur seuil en zone cotonnière au Mali. Document technique de la Compagnie Malienne de Développement Textile (CMDT), DPA/SLRD : 6 pp.
- Amarger N., 1980. Aspect microbiologique de la culture des légumineuses. Le sélectionneur français, 28 : 61-66.
- Amarger N., 1991. Fixation de l'azote moléculaire par les associations légumineuses-bactéries en symbiose : aspects génétiques et agronomiques. Comptes Rendus de l'Académie d'Agriculture de France, 77 : 143-152.
- Amato M., Ladd J. N., 1988. Assay for microbial biomass based on ninhydrin-reactive nitrogen in extracts of fumigated soils. Soil Biology and Biochemistry, 20 : 107-114.
- Anderson J. M., Ingram J. S. I., 1993. Tropical soil biology and fertility - A handbook of methods. CAB International, Wallingford : 221 pp.
- Anderson T. H., 1994. Physiological analysis of microbial communities in soil : applications and limitations. In Beyond the biomass. Compositional and functional analysis of soil microbial communities. K. Ritz, J. Dighton and K. E. Giller, Eds, John Willey and Sons (UK) : 67-76.
- Anderson T.H., Domsch K. H., 1989. Ratios of microbial biomass carbon and total organic carbon in arable soils. Soil Biology and Chemistry, 21 : 471-479.
- Anonymous, 1994. Model DR/700 portable colorimeter instrument manual, vol. 69. HACH Company, Loveland, Colorado : 7-12.
- Assogba-Komlan F., Anihouvi P., Achigan E., Sikirou R., Boko A., Adje Ch., Ahie V., Vodouhe R., Assa A., 2007. Pratiques culturales et teneur en éléments anti nutritionnels (nitrates et pesticides) du *Solanum macrocarpum* au sud du Bénin. African Journal of Food, Agriculture, Nutrition and Development, 7(4) : 21 pp (format pdf, www.bioline.org.br ou www.ajfand.nt/Vol7No4.html, 07/04/2008).
- Atchaleke, J. Brévault T., Couston L., 2007. Protection intégrée du cotonnier et gestion des résistances au nord Cameroun - rapport annuel 2006-2007. Centre Régional de Maroua, Station Polyvalente de Garoua, Institut de Recherche Agricole pour le Développement (IRAD), Garoua, Cameroun : 25 pp.
- Baudron F., 2007. Production ou Conservation ? Le dilemme du coton en périphérie du Parc Transfrontière du W du Niger (Est Burkina Faso et Est Bénin)- Création de systèmes de cultures agroécologiques plus durables et plus respectueux de l'Environnement. Programme Régional Parc W / ECOPAS, 7 ACP RPR 742, Mission d'étude 20 novembre-13 décembre 2006, ECOPAS, Ouagadougou, Burkina Faso / CIRAD, Montpellier, France : 96 pp.

- Bending G.D., Putland C., Rayns F., 2000. Changes in microbial community metabolism and labile organic matter fractions as early indicators of the impact of management on soil biological quality. *Biological and Fertility of Soils*, 31 : 78-84
- Berg B., 1986. Nutrient release from litter and humus in coniferous forest soils - a mini review. *Scan J. For. Res.*, 1 : 359-369.
- Berg B., Matzner E., 1997. Effect of N deposition on decomposition of plant litter and soil organic matter in forest ecosystems. *Environmental Review*, 5 : 1-25.
- Bernhard-Reversat F., 1982. Biogeochemical cycle of nitrogen in a semi-arid savannah. *Oikos*, 38 : 321-332.
- Bernhart-Reversat F., 1999. Changes in relationships between initial litter quality and CO₂ release during early decomposition of tropical leaf litters. *European Journal of Soil Biology*, 34 : 117-122.
- Biaou C., Alonso S., Truchot D., Abiola F.A., Petit C., 2003. : Contamination des cultures vivrières adjacentes et du sol lors d'une pulvérisation d'insecticides sur des champs de coton, cas du triazophos et de l'endosulfan dans le Borgou (Bénin). *Revue Médicale Vétérinaire* 154 (5) : 339-344.
- Bikay Bi B.S.B., 2005. Inventaire de la macrofaune en culture cotonnière sous quatre modes de gestion des sols : cas de Windé Pintchoumba (Nord) et Zouana (Extrême-Nord). Mémoire présenté en vue de l'obtention du diplôme d'ingénieur agronome, option productions végétales. Département de Protection des Végétaux, Faculté d'Agronomie et des Sciences Agricoles (F.A.S.A.), Université de Dschang, Yaounde : 71 pp (+ annexes 13 pp).
- Binet F., Hallaire V., Cumi P., 1996. Agricultural practices and the spatial distribution of earthworms in maize fields - Relation between earthworm abundance, maize plants and soil compaction. *Soil Biology and Biochemistry*, 28 (12) :
- Blandin P., 1986. Bioindicateurs et diagnostic des systèmes écologiques. *Bulletin d'Ecologie*, 17 : 215-307.
- Bockstaller C., Girardin Ph., Van der Werf H.M.G., 1997. Use of agro-ecological indicators for the evaluation of farming systems. *European Journal of Agronomy*, 7 : 261-270.
- Boissin J., Monnier G., 1989. Evolution de certaines composantes de la fertilité sous l'influence des systèmes de culture. In "Fertilité et systèmes de production", M. Sébillote, Ed., INRA Editions, Paris : pp 207-225.
- Boufalis A., Pellissier F., 1994. Allelopathic effect of phenolic mixtures on respiration of two spruce mycorrhizal fungi. *J Chem Ecol*, 20 : 2283-2289.
- Brady, N.C. 1974. The Nature and Properties of Soils. 8th Edition. *MacMillan Publishing Co., Inc, New York USA*.
- Bremer E., Van Houtoum W., Kessel C., 1991. Carbon dioxide evolution from wheat and lentil residues as affected by grinding, added nitrogen and the absence of soil. *Biology and Fertility of Soils*, 11 : 221-227.
- Bremner J. M., 1965. Inorganic forms of nitrogen. In *Methods of soils analysis, part 2 - Agronomy monograph N° 9*, C. A. Black et al., American Society for Agronomy, SSSA, Madison, Wisconsin, USA : 1179-1237.
- Brévault T., Naudin K., Guibert H., (en préparation) Factors affecting cotton seedling in no till with mulch cropping system in Cameroon : 17 pp.
- Brown R.B., Carter M.H., Stephenson G.R., Brown R.B., 2004. Buffer zone and windbreak effects on sprays deposition in a simulated wetland. *Pest Management Science* : 1085-1090.

- Bues R., Bussi res P., Dadomo M., Dumas Y., Garcia-Pomar M.I., Lyannaz J.P., 2004 - Assessing the environmental impacts of pesticides used on processing tomato crops. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 102 : 155-162.
- Catroux G., Revellin C., Hertmann A., 1996. Practical aspects of legume inoculation : inoculant quality and inoculation efficacy. Consequences for the soil microflora. *In* Actas del Seminario “Microorganismos utiles para la Agricultura y la Forestacion”. XV Congreso de la Asociacion Argentina de la Ciencia del Suelo, INTA et INRA Eds : 108-125.
- Cauquil J., Vaissayre M., 1994. Protection phytosanitaire du cotonnier en Afrique tropicale - Nouvelle politique et choix des pesticides. *Agriculture et Développement*, 3 : 13-23.
- Cauquil J., Vaissayre M., 1994. Protection phytosanitaire du cotonnier en Afrique tropicale - Contraintes et perspectives des nouveaux programmes. *Agriculture et Développement*, 3 : 13-23.
- CCME, 2003. Summary of Canadian environmental quality guidelines. Canadian Council of Ministers of the Environment (december 2003) : (disponible à l’adresse : http://www.ccme.ca/publications/ceqg_recqe.html)
- Cecchi, Ph., 2007. Impact du maraîchage et des pesticides sur l’écologie et les communautés aquatiques des réservoirs du Nakamb , proposition détaillée au Programme d’appui au développement du secteur eau et assainissement (PADSEA Phase II), IRD, Ouagadougou, Burkina Faso : 23 pp.
- Cecchi Ph., Arfi R., Berger C., 2005. Cyanobactéries, potentiel toxique et ressources en eau du Burkina Faso. Rapport de Mission 2005, IRD Unité de Recherche 098/167 “Efflorescences Algales”, Ouagadougou, Burkina Faso : 35 pp.
- Cecchi Ph., Meunier-Nikiema A., Moiroux N., Sanou B., Bougaire F., 2007. Why an atlas of lakes and reservoirs in Burkina Faso ? Huitième conférence et exposition AFRICAGIS, 17 - 21 septembre 2007, Ouagadougou, Burkina Faso (http://www.smallreservoirs.org/full/publications/posters/Q13-IRD-AfricaGIS_ConferenceSum-0907.pdf en date du 04/04/2008) : 20 pp.
- Chassin P., 1993. Formation et structure du complexe argilo-humique. Conséquences sur la protection physique et physico-chimique des matières organiques. *In* Matières Organiques et Agricultures, J. Decroux et J. C. Degnazi, Eds : 27-36.
- Chaussod R., Nicolardot B., Catroux G., Chrétien J., 1986. Relations entre les caractéristiques physico-chimiques et microbiologiques de quelques sols cultivés. *Science du Sol*, 2 : 213-226.
- Chaussod R., Houot S., Guiraud G., H tier J. M., 1988. Size and turnover of the microbial biomass in agricultural soils : laboratory and fields experiments. *In* Nitrogen efficiency in agricultural soils, D. S. Jenkinson et K. E. Smith, Eds, Elsevier Applied Science : 312-326.
- Chaussod R., 1996. La qualité biologique des sols :  valuation et implications. - Forum “Le sol, un patrimoine menacé ?” Paris, 24 octobre 1996, étude et Gestion des Sols, Numéro spécial 3 (4) : 261-277.
- Cheverry C., 1994. La dégradation chimique des sols en Bretagne. *Etude et Gestion des sols*, 1 : 7-21.
- Cissé G., Kientga M., Ouédraogo B., Tanner M., 2002. Développement du maraîchage autour des eaux de barrage à Ouagadougou : quels sont les risques sanitaires à prendre en compte ? *Cahiers Agriculture*, 11 : 31-38.

- Clapperton M. J., Janzen H. H., Johnston A. M., 1997a. Suppression of Wam fungi and micronutrient uptake by low-level P fertilisation in long-term wheat rotations. *American Journal of Alternative Agriculture*, 12 : 59-63.
- Clapperton M. J., 2003. Increasing soil biodiversity through conservation agriculture : managing the soil as a habitat. *In* Actas del II Congreso Mundial sobre Agricultura Conservacionista. [Cd-Rom], Ponta Grossa : FEBRAPDP, Congresso Mundial sobre Agricultura Conservacionista, 2003-08-11 / 2003-08-15, Foz do Iguaçu, Brésil : 136-144.
- Constantinides M., Fownes J. H., 1994. Nitrogen mineralization from leaves and litter of tropical plants : relationships to nitrogen, lignin and soluble polyphenol concentrations. *Soil Biology and Biochemistry*, 26 : 49-55.
- Couteaux M. M., McTiernan K. B., Szuberla D., Dardenne P., Bottner P., 1998. Chemical composition and carbon mineralization potential of Scots pine needles at different stages of decomposition. *Soil Biology and Biochemistry*, 30 : 583-595.
- Deguine J.-P., Ekukole G., 1994. Nouveau programme de protection en culture cotonnière au Cameroun. *Agriculture et Développement*, 1 : 59-63.
- Deguine J.-P., Ekukole G., Amiot E., 1993. La lutte étagée ciblée, un nouveau programme de protection insecticide en culture cotonnière au Cameroun. *Coton et Fibres Tropicales*, 48 (2) : 99-119.
- Dehoux, J.P., 1993. Lutte contre *Glossina tachinoides* au Bénin - Utilisation particulière de pièges-neus imprégnés de deltaméthrine. *Revue d'élevage et de médecine vétérinaire des pays tropicaux*, 46 (4) : 581-589.
- Descôtes A., Moncomble D., Valentin G., Chaussod R., Cluzeau D., Grinbaum M., 1995. Viti 2000 : production intégrée et préservation des sols dans le vignoble champenois. *In* ANPP 16^{ème} Conférence du COLUMA, 1995/12/6-8, Reims, France : 8 pp.
- Dick W. A., Tabatabai M. A., 1992. Significance and potential uses of soil enzymes. *In* *Soil Microbial Ecology, Application in Agricultural and Environmental Management*. F. Blaine Metting Jr, Ed., Marcel Dekker, New York, USA : 95-127.
- Dirkse F.B., 2004. Improved control of populations of the serpentine leafminer *Liriomyza trifolii* with reduced sensitivity for abamectin and cyromazine by addition of the organo-modified trisiloxane zipper® to the spray liquid. *Proceedings of the 7th International Symposium on adjuvants for agrochemicals*, 8-12 november 2004, Cape Town, South Africa : 4 pp [CD-Rom]
- Dirkse F.B., Koeckhoven J., 2004. Improved control of organophosphate and pyrethroid resistant populations of *Aphis frangulae* in potatoes with pymetrozine by addition of the organo-silicone zipper® to the spray liquid. *Proceedings of the 7th International Symposium on adjuvants for agrochemicals*, 8-12 november 2004, Cape Town, South Africa : 4 pp [CD-Rom]
- Domsch K. H., Jagnow G., Anderson T. H., 1983. An ecological concept for the assessment of side-effect of agrochemicals on soil micro-organisms. *Residue Reviews*, 86 : 65-105.
- Domsch K. H., 1985. Interactions with microflora. *In* *Fungicides for crop protection. Colloque commémoratif du centenaire de la bouillie bordelaise*. I. M. Smith, Ed., BCPC Monograph n° 31 : 143-148.
- Doussa, S., 2004. Les impacts de la culture cotonnière sur la gestion des ressources naturelles du Parc W - Cas de l'enclave de Kondio. *Mémoire de Maîtrise, Unité de Formation et Recherche en Sciences Humaines, Université de Ouagadougou, Année Universitaire 2003-2004, Ouagadougou, Burkina Faso* : 123 pp.
- ECOPAS, 2005. Cartographie de la zone d'intervention du programme régional du Parc W /

- ECOPAS. Programme Régional Parc W / ECOPAS, 7 ACP RPR 742, Consortium ECOPAS, Ouagadougou, Burkina Faso : 32 pp (dont 31 cartes).
- Fadoegnon B., Géraudeau E., Toukon Ch., 2004. Pratiques paysannes et diagnostic des facteurs de variation du rendement des cotonniers au Bénin, année 2003 - Rapport du Projet PARCOB (Projet d'Appui à la Recherche Cotonnière) Composante I. Institut National des Recherches Agricoles (INRAB), Cotonou, Bénin, et Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement, Montpellier, France : 93 pp + 8 pages d'annexes.
- Floquet A., Mongbo R., 2003. Etude des effets et des impacts de la lutte étagée ciblée sur les producteurs - Résultats d'une enquête socio-économique conduite en octobre et novembre 2003 dans 4 communes du Centre et Nord Bénin à la demande du PADSE. Centre Béninois pour le Développement Economique et Social (CEBEDES), Cotonou, Bénin : 97 pp.
- Flury M., 1996. Experimental evidence of transport of pesticides through field soils - a review. *Journal of Environmental Quality*, 25 : 25-45.
- Fournier, J. C., 1992. La dégradation des xénobiotiques en milieu naturel : capacité dégradante et adaptation de la microflore ; possibilités d'intervention. Dossier de la cellule Environnement de l'INRA, N° 4 : 140-144.
- Friedel J. K., Munch J. C., Fischer W. R., 1996. Soil microbial properties and the assessment of available soil organic matter in a haplic luvisol after several years of different cultivation and crop rotation. *Soil Biology and Biochemistry*, 28 : 479-488.
- Garbaye J., 1991. Utilisation des mycorhizes en sylviculture. *In* Les mycorhizes des arbres et plantes cultivées, D. G. Sturlu, coordonnateur, Lavoisier Tech et Doc, Paris, France : 197-248.
- Garland J. L., Mills A. L., 1994. A community-level physiological approach for studying microbial communities. *In* Beyond the biomass. Compositional and functional analysis of soil microbial communities. K. Ritz, J. Dighton et K. E. Giller, Eds, John Wiley and Sons (UK) : 77-83.
- Géraudeau E., Yombouno A., 1997. L'expérience guinéenne en matière de nouveaux programmes de protection du cotonnier. *In* Actes de la Réunion phytosanitaire de l'Afrique de l'Ouest et du Centre, 27-31 janvier 1997, Cotonou, Bénin. Coraf, Dakar, Sénégal : 208-212.
- Gerstl S., Cissé G., Tanner M., 2002. Economic impact of urban agriculture on home gardeners in Ouagadougou. Swiss Tropical Institute, Bala Switzerland / Ecole Inter-Etats d'Ingénieurs de l'Equipement Rural, Ouagadougou, Burkina Faso. *In* the Economics of Urban Agriculture - Agriculture Urban Magazine, August 2002, n° 7 : 12-15.
- Gil Y., Sinfort C., 2005. Emission of pesticides to the air during sprayer application : a bibliographic review. *Atmospheric Environment*, 39 : 5183-5193.
- Giller K. E., Cadisch G., 1997. Driven by nature : a sense of arrival or departure ? *In* Driven by nature. Plant litter quality and decomposition. G. Cadisch et K. E. Giller, Eds, CAB International, Wallingford : 393-399.
- Girardin P., Bockstaller Ch., Merouzeau L., 1998. Estimation de l'impact sur l'environnement de traitements phytosanitaires pour des colzas transgéniques résistants au glyphosate ou au glufosinate. *Le Courrier de l'Environnement*, 33 (avril 98) : 2 pp (08/04/2008 : www.inra.fr/dpenv/girarc33.htm)
- Girardin P., Bockstaller C., Van der Werf H.M.G., 1999. Indicators : tools to evaluate the environmental impacts of farming systems. *Journal of Sustainable Agriculture*, 13 : 5-21.

- Goering H. K., Van Soest P. J., 1970. Forage fibre analysis (apparatus, reagent, procedure and some applications). USDA Handbook n° 379, U.S. Government Printing Office, Washington, D.C.
- Guibert H, Prudent P., 2006. Mise en place d'un programme d'évaluation des impacts environnementaux exercés par le front agricole pionnier dans l'aire protégée et la périphérie du Parc du W. Rapport définitif de la mission d'étude RES 2004 050. Programme Régional Parc W / ECOPAS, 7 ACP RPR 742, Mission d'étude 14-24 juin 2005, ECOPAS, Ouagadougou, Burkina Faso / CIRAD, Montpellier, France : 185 pp.
- Hadonou-Yovo B., 2000. Bilan et caractéristiques des cas d'intoxication liés aux produits phytosanitaires en république du Bénin durant la campagne cotonnière 1999/2000 - Rapport de l'enquête initiée par les sociétés Calliope S.A. et Aventis en collaboration avec le Ministère du Développement Rural (MDR) et du Ministère de la Santé, Décembre 2000 : 75 pp.
- Haider K., Martin J. P., Filip Z., 1975. Humus biochemistry. *In* : Soil biochemistry, vol 4., Paul E.A. et McLaren A. D., Eds, Dekker, New York, USA : 195-244.
- Hargreaves H., 1948. List of recorded cotton insects of the world. Commonwealth Institute of Entomology. Harrison & Sons Ltd. : 50 pp.
- Hayano K., 1973. A method for determination of β -glucosidase activity in soil. *Soil Sci Plant Nutr*, 19 : 103-108.
- Haynes R.J., 1999. Labile organic matter fractions and aggregate stability under short-term, grass-based leys. *Soil Biology and Biochemistry*, 31 : 1821-1830.
- Heal O. W., Anderson J. M., Swift M. J., 1997. Plant litter quality and decomposition : an historical review. *In* Driven by nature. Plant litter quality and decomposition. G. Cadisch et K. E. Giller, Eds, CAB International, Wallingford : 47-66.
- Helvetas Burkina Faso, 2005. Programme de production du coton biologique au Burkina Faso - Rapport annuel 2004. Helvetas Burkina Faso, janvier 2005, Ouagadougou, Burkina Faso : 17 pp.
- Helvetas Burkina Faso, 2006. Programme de production du coton biologique au Burkina Faso - Rapport annuel 2005. Helvetas Burkina Faso, janvier 2006, Ouagadougou, Burkina Faso : 22 pp.
- Helvetas Burkina Faso, 2007. Programme de production du coton biologique au Burkina Faso - Rapport annuel 2006. Helvetas Burkina Faso, janvier 2007, Ouagadougou, Burkina Faso : 18 pp.
- Hema O., 1995. Contraintes socio-économiques liées à la mise en place de la lutte étagée ciblée au Burkina Faso. *In* Actes de la Réunion de coordination phytosanitaire (cultures annuelles) de l'Afrique de l'Ouest, 20-24 février 1995, Cirad-Ier-Coraf, Bamako, Mali (335 pp) : 225-231.
- Hendrickson O. Q., 1985. Variation in the C:N ratio of substrate mineralized during forest humus decomposition. *Soil Biology and Biochemistry*, 17 : 435-440.
- Henriksen T. M., Breland T. A., 1999. Nitrogen availability effects on carbon mineralization, fungal and bacterial growth, and enzyme activities during decomposition of wheat straw in soil. *Soil Biology and Biochemistry*, 31 : 1121-1134.
- Herman W.A., McGill W. B., Dormarr J. R., 1977. Effects of initial chemical composition on decomposition of roots of three grass species. *Canadian Journal of Soil Science*, 57 : 205-215.

- Houot S., Chaussod R., 1995. Impact of agricultural practices on the size and activity of the microbial biomass in a long-term field experiment. *Biology and Fertility of Soils*, 19 : 309-316.
- Hyrkäs W., Pernholm S., 2007. Impact of market gardening on surface water reservoirs in Burkina Faso - Impacts of current agricultural practices around the reservoir of Toukountouré, Nariarlé basin, on natural phytoplankton communities. Report N° TVVR 07/5014, Department of Water Resources Engineering, Faculty of Engineering, Lund University, Lund, Sweden : 111 pp.
- INERA, 2007. Rapport d'activités en coton biologique du programme COTON/INERA - campagne 2006-2007. Station de Farakoba, Programme Coton, Centre Régional de Recherches Environnementales et Agricoles de l'Ouest, Institut de l'Environnement et de Recherches Agricoles (INERA), Farakoba, Burkina Faso : 31 pp.
- Insam H., Parkinson D., Domsch K. H., 1989. Influence of macroclimate on soil microbial biomass. *Soil Biology and Biochemistry*, 21 : 211-221.
- Jarstfer A. G., Sylvia D. M., 1992. Inoculum production and inoculation strategies for vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi. *In Soil Microbial Ecology, Application in Agricultural and Environmental Management*. F. Blaine Metting Jr, Ed., Marcel Dekker, New York, USA : 349-377.
- Jensen E. S., 1994. Mineralization-immobilization of nitrogen in soil amended with low C:N ratio residues with different particle size. *Soil Biology and Biochemistry*, 26 : 519-521.
- Jensen P.K.S., Niels Henrik, 2003. Deposition of pesticides on the soil surface. Danish Environmental Protection Agency Research, 65 : 59 pp.
- Kandeler E., Kampichler C., Horak O., 1996. Influence of heavy metals on the functional diversity of soil microbial communities. *Biology and Fertility of Soils*, 23 : 299-306.
- King H. G., Heath G. W., 1967. The chemical analysis of small samples of leaf material and the relationship between the disappearance and composition of leaves. *Pedobiologia*, 7 : 192-197.
- Kovach J., Petzoldt C., Degni J., Tette J., 2007. A method to measure the environmental impact of pesticides, table 2, list of pesticides. New York Integrated Pest Management Program, Cornell University, New York State Agricultural Experiment Station, Geneva, New York, USA : 7 pp. [dernière mise à jour janvier 2007 : <http://www.nysipm.cornell.edu/publications/eiq/> au 05/04/2008]
- Laguerre G., Geniaux E., Mazurier S. I., Rodriguez Casartelli R., Amarger N., 1993. Conformity and diversity among field isolates of *Rhizobium leguminosarum* bv. *viciae*, bv. *trifolii* and bv. *phaseoli* revealed by DNA hybridization using chromosome and plasmid probes. *Canadian Journal of Microbiology*, 39 : 412-419.
- Lavelle P., 1993. Le rôle de la faune des sols dans le maintien de leur qualité. *In "La qualité des sols"*, supplément à *Chambres d'Agriculture*, 817 : 28-31.
- Le Barbé L., Alé G., Millet A., Texier H., Borel Y., Gualde R., 1993. Les ressources en eaux superficielles de la République du Bénin. Collection Monographies Hydrologiques N°11, ORSTOM, Paris : 540 pp.
- Leboulanger Ch., Bouvy M., Pagano M., Dufour R-A, GOT P., Cecchi Ph., en préparation a. Responses of planktonic microorganisms from tropical reservoirs to paraquat and deltamethrin exposure.
- Leboulanger Ch., Bouvy M., Pagano M., Dufour R-A, GOT P., Cecchi Ph., en préparation b. Toxicity of water extracts and pesticides to planktonic microorganisms isolated from tropical reservoirs, Burkina Faso, West Africa.

- Leonard R.A., 1990. Movement of pesticides into surface waters. *In* H.H. Cheng (eds) - Pesticides in the soil environment : processes, impacts, and modeling. Soil Science Society of America, Madison, Wisconsin, USA : 303-350.
- Longley M., Cilgi T., Jepson P.C., Sotherton N.W., 1997. Measurements of pesticides spray drift deposition into field boundaries and hedgerows . 1 . Summer applications. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 16 (2) : 165-172.
- Lowry O. H., Rosbrough N. J., Farr A. L., Randall R. I., 1951. Protein measurement with the Folin phenol reagent. *J. Biol Chem*, 193 : 265.
- Marstrop H., 1996. Influence of soluble carbohydrates, freeaminoacids and protein content on the decomposition of *Lolium multiflorum* shoots. *Biology and Fertility of Soils*, 21 : 257-263.
- Martens D. A., 2000. Plant residue biochemistry regulates soil carbon cycling and carbon sequestration. *Soil Biology and Biochemistry*, 32 : 361-369.
- Martin S., 1993. L'observatoire de la Qualité des Sols, un outil de gestion pour l'agriculture, un instrument d'observation de la biosphère. *In* "La qualité des sols", supplément à *Chambres d'Agriculture*, 817 : 8-10.
- Martin T., Ochou G.O., Hala-N'Klo F., Vassal J.-M., Vaissayre M., 2000. Pyrethroid resistance in the cotton bollworm *Helicoverpa armigera* (Hübner), in West Africa. *Pest Management Science*, 56 : 549-554.
- Maurin G., Lavanceau P.H., 1988. La lutte contre les limaces. Aspects méthodologiques. *Défense des Végétaux*, 42 (251) : 12-16.
- Matthess A., Van den Akker E., Chougourou, D., Midingoyi S., 2005. Compétitivité et durabilité de cinq systèmes culturels cotonniers dans le cadre de la filière. Programme de Conservation et de Gestion des Ressources Naturelles (ProCGRN), Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (Coopération technique Allemande) / Ministère de l'Agriculture, de l'Elevage et de la Pêche, Cotonou, Bénin : 206 pp.
- McTiernan K.B., Ineson P., Coward P. A., 1997. Respiration and nutrient release from tree leaf mixtures. *Oikos* 78:527-538
- Michel B., Tereta I., Bagayoko B., Traore N., 1997. La lutte étagée ciblée : l'expérience malienne. *In* Actes de la Réunion phytosanitaire de l'Afrique de l'Ouest et du Centre, 27-31 janvier 1997, Cotonou, Bénin. Coraf, Dakar, Sénégal : 213-217.
- Michel B., Togola M., Vodounnon S., Silvie P., 1999. Vers une gestion raisonnée de l'entomofaune du cotonnier - II : Développement de nouveaux programmes de protection en Afrique de l'Ouest. *Agriculture et Développement*, 22 : 77-81.
- Michel B., Togola M., Tereta I., Traoré N.N., 2000. La lutte contre les ravageurs du cotonnier au Mali : problématique et évolution récente. *Cahiers Agricultures*, 9 : 109-115.
- Nelson N., 1944. A photometric adaptation of the Somogyi method for determination of glucose. *J. Biol Chem*, 153 : 375-380.
- Nibouche S., Faure G., Kleene P., Ouédraogo S., 1998. First step towards integrated pest management on cotton in Burkina Faso. *Crop Protection*, 17(9) : 697-701.
- Nouaïm R., 1994. Ecologie microbienne des sols d'arganeraie : activités microbiologiques des sols et rôle des endomycorhizes dans la croissance et la nutrition de l'arganier (*Argania spinosa* L. Skeels). Thèse de Doctorat es sciences, Université d'Agadir, Maroc : 193 pp + annexes.
- Nouaïm R., Chaussod R., 1994. Rôle des mycorhizes dans l'alimentation hydrique et minérale des plantes, notamment des ligneux de zones arides. *Options Méditerranéennes*, 20 : 9-26.

- Okon Y., Labandera-Gonzalez C. A., 1994. Agronomic applications of Azospirillum : an evaluation of 20 years worldwide field inoculation. *Soil Biology and Biochemistry*, 12 : 1591-1601.
- Osibanjo O., Biney C. Calamari D., Kaba N., Mbome I.L., Naeve H., et al., 1994. Chlorinated hydrocarbon substances. *In* : Calamari D., Naeve H. (editors). Review of pollution in the African aquatic environment. CIFA Technical Paper, vol 25, Food and Agricultural Organization of the United Nations (FAO).
- Ouédraogo S., 2006. Accès à la terre et sécurisation des nouveaux acteurs autour du lac de Bazéga (Burkina Faso), Dossier 138, IIED, Londres, U.K.
- Palm C. A., Sanchez P. A., 1991. Nitrogen release from leaves of some tropical legumes as affected by their lignine and polyphenolic contents. *Soil Biology and Biochemistry*, 23 : 83-88.
- Palm U.D., 2005 - Le Parc Régional W entre conservation et activités extra-conservatrices : le coton biologique, une activité agricole alternative dans la périphérie du W (Burkina Faso). Mémoire de fin d'études en vue de l'obtention du diplôme d'ingénieur du développement rural; Institut du Développement Rural (IDR), Université Polytechnique de Bobo-Dioulasso, Bobo-Dioulasso, Burkina Faso : 80 pp + 11 pages d'annexes
- PAN Togo, 2005. Rapport de l'étude sur l'inventaire des POPs dans les circuits formels et informels au Togo. Projet International pour l'Elimination des POPs (IPEP), Pesticide Action Network Togo, décembre 2005, Lomé, Togo : 64 pp.
- Pare T., Gregorich E.G., Nelson S.D., 2000. Mineralisation of nitrogen from crop residues and N recovery by maize inoculated with vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi. *Plant and Soil*, 218 : 11-20.
- Parr J. F., Papendick R. I., 1978. Factors affecting the decomposition of crops residues by micro-organisms. *In* W. R. Oschwald Ed., Crop residue management systems. American Society for Agronomy, Madison, Wisconsin : 101-129.
- Pazou E.Y.A., Lalèyè Ph., Boko M., Van Gestel C.A.M., Ahissou H., Akpona S., Van Hattum B., Swart K., Van Straalen N.C., 2006a. Contamination of fish by organochlorine pesticide residues in the Ouémé river catchment in the Republic of Bénin. *Environment International*, 32 : 594-599.
- Pazou E.Y.A., Boko M., Van Gestel C.A.M., Ahissou H., Lalèyè Ph., Akpona S., Van Hattum B., Swart K., Van Straalen N.C., 2006b. Organochlorine and organophosphorous pesticide residues in the Ouémé river catchment in the Republic of Bénin. *Environment International*, 32 : 616-623.
- Pergher G., Gubiani R., 1995. The effect of spray application rate and airflow rate on folier deposition in a hedgerow vineyard. *Journal of agricultural engineering* : 205-216.
- Perrin R., 1996. Biological control with strategies based on cultural practices. *In* Actas del Seminario "Microorganismos utiles para la Agricultura y la Forestacion". XV Congreso de la Asociacion Argentina de la Ciencia del Suelo, INTA et INRA Eds : 108-125.
- Pick F.E., Van Dyk L.P., de Beer P.R., 1984. The effect of simulated rain on deposits of some coton pesticides. *Pesticide science*, 15 : 616-623.
- Pochon J., Tardieux P., 1962. Techniques d'analyses en microbiologie du sol. Editions de La Tourelle : 112 pp.
- Powlson D.S., Brookes P. C., Christensen B. T., 1987. Measurement of soil microbial biomass provides an early indication of changes in total organic matter due to straw incorporation. *Soil Biology and Biochemistry*, 19 : 159-164.

- Prudent P., 1988. Etude bio-écologique d'*Eutinobothrus brasiliensis* (Hambl.) (Coleoptera, Curculionidae), foreur de tige du cotonnier au Paraguay. Thèse Doctorat, Université Paul Sabatier, Toulouse : 877 pp.
- Prudent P., Totin B.Y., Djihinto A.C., Katary A., 2001 a. Rapport annuel d'activité du volet lutte étagée ciblée (LEC), Campagne 2000/2001. Projet d'Amélioration et de diversification des systèmes d'exploitation (Alibori, Borgou, Collines et Zou), PADSE, Direction du Centre de Recherches Agricoles – Coton et Fibres, Mars 2001, Cotonou, République du Bénin : 30 pp.
- Prudent P., Totin B.Y., Djihinto A.C., Katary A., 2001 b. Rapport économique du volet lutte étagée ciblée (LEC), Campagne 2000/2001. Projet d'Amélioration et de diversification des systèmes d'exploitation (Alibori, Borgou, Collines et Zou), PADSE, Direction du Centre de Recherches Agricoles – Coton et Fibres, Novembre 2001, Cotonou, République du Bénin : 19 pp.
- Prudent P., Totin B.Y., Djihinto A. C., Katary A., 2003 . Rapport annuel d'activité, Lutte Étagée Ciblée, Campagne 2002-2003. Projet d'Amélioration et de diversification des systèmes d'exploitation (Alibori, Borgou, Collines et Zou), PADSE, Direction du Centre de Recherches Agricoles – Coton et Fibres, Avril 2003, Cotonou, République du Bénin : 76 pp.
- Prudent P., Totin B.Y., Djihinto A. C., Katary A., 2004. Rapport annuel d'activité, Lutte Étagée Ciblée, Campagne 2003-2004. Projet d'Amélioration et de diversification des systèmes d'exploitation (Alibori, Borgou, Collines et Zou), PADSE, Direction du Centre de Recherches Agricoles – Coton et Fibres, Juillet 2004, Cotonou, République du Bénin : 51 pp.
- Prudent P., Midingoyi S.-K. G., Aboua Ch., Fadoegnon B., 2006. La lutte étagée ciblée (LEC) pour une production durable du coton. référentiel technico-économique de la production agricole (N°12), Projet ProCGRN (coopération allemande) / Institut National des Recherches Agricoles du Bénin, Cotonou, Bénin : 111 pp.
- PSNPADB, 2002. Stratégie Nationale et Plan d'Action pour la Conservation de la Biodiversité Biologique. Projet de Stratégie Nationale et Plan d'Action de la Biodiversité Biologique (Ben/97/G 31), Ministère de l'Environnement, de l'Habitat et de l'Urbanisme, Cotonou, Bénin : 144 pp.
- Recous S., Robin D., Darwis D., Mary B., 1995. Soil inorganic N availability : effect on maize residue decomposition. *Soil Biology and Biochemistry*, 27 : 1529-1538.
- Reinersten S. A., Elliott L. F., Cochran V. L., Campbell G. S., 1984. Role of available carbon and nitrogen in determining the rate of wheat straw decomposition. *Soil Biology and Biochemistry*, 16 : 459-464.
- Renou A., 2007. Perspectives d'amélioration des interventions sur seuil. Compte rendu des journées d'animation scientifique des UPRs Coton, 10-12 juillet 2007, CD-Rom, Montpellier, France : 14 + 11 diapositives.
- Robert M., Chenu C., 1992. Interactions between soil minerals and microorganisms. *In Soil Biochemistry*, vol. 7, G. Stotzky et J. M. Bollag Eds, Marcel Dekker, New York, USA : 307-404.
- Rosendahl I., Laabs V., James B.D., Atcha-Ahowé C., Agbotse S.K., Kone D., Kogo A., Salawu R., Glitho I.A., 2008. Living with pesticides : a vegetable case study. The systemwide program on integrated pest management (SPIPM) / Consultative Group on Agricultural Research (CGIAR) / International Institute of Tropical Agriculture (IITA) (janvier 2008) , Abomey-Calavi, Bénin : 41 pp (05/04/2008 : www.spipm.cgiar.org)

- Roussel O., Cavelier A., Van der Werf H.M.G., 2000. Adaptation and use of a fuzzy expert system to assess the environmental effects of pesticides applied to fields crops. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 80 : 143-158.
- Rouxel F., Lejeune B., Sanson M. T., Legall V., 1988. Essai de lutte intégrée contre la hernie des crucifères due à *Plasmodiophora brassicae*. In *Annales ANPP, Deuxième Conférence Internationale sur les Maladies des Plantes*, 1988/11/8-10, Bordeaux, France : 501-508.
- Sakala W. D., Cadisch G., Giller K. E., 2000. Interaction between residues of maize and pigeonpea and mineral N fertilizers during decomposition and N mineralization. *Soil Biology and Biochemistry*, 32 : 679-688.
- Sall S. N., Masse D., Bernhard-Reversat F., Guisse A., Chotte J.-L., 2003. Microbial activities during early stage of laboratory decomposition of tropical leaf litters : the effect of interaction between litter quality and exogenous inorganic nitrogen. *Biology and Fertility of Soils*, 39 : 103-111.
- Sanny S. M., 2002. Contribution à l'amélioration des rendements et de la qualité des cultures maraîchères (détection des biocontaminants et agents toxiques : Cas du périmètre maraîcher de Houéyiho à Cotonou. Mémoire de fin de cycle (2001-2002) pour l'obtention du diplôme d'ingénieur des travaux, Collège Polytechnique Universitaire, Université d'Abomey-Calavi, Abomey-Calavi, Bénin : 100 pp.
- Schiavon M., Perrin-Garnier C., Portal J.M., 1995. La pollution de l'eau par les produits phytosanitaires : état et origine. *Agronomie*, 15 : 157-170.
- Schnürer J., Clarholm M. Rosswall T., 1985. Microbial biomass and activity in an agricultural soil with different organic matter contents. *Soil Biology and Biochemistry*, 17 : 611-618.
- Smith C.N., Payne W.R., Mulkey L.A., Brenner J.E., Pairish R.S., Smith M.C., 1981. The persistence and disappearance by washoff and dryfall of methoxychlor from soybean foliage : a preliminary study. *J. Environ. Sci. Health*, B16 : 777-794.
- Some K., 2007. Impact des activités agricoles sur la qualité des eaux dans le bassin du Nakanbe : cas des réservoirs de Loumbila et Mogtedo (Burkina Faso). Mémoire présenté pour l'obtention du DEA Spécialité Biologie et Ecologie Végétales, Options Botanique et Phytoécologie, Unité de Formation et Recherche en Sciences de la Vie et de la Terre, Université de Ouagadougou, 17 février 2007, Ouagadougou, Burkina Faso : 65 pp.
- Somers E., Thomas W.D.E., 1956. Studies on spays deposits II : the tenacy of copper fungicides on artificial and leaf surfaces. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 7 : 655-667.
- Somogyi M., 1945. Determination of blood sugar. *J. Biol Biochem*, 160 : 61-68.
- Sonigbe B., 1995. Bilan des nouveaux programmes de protection phytosanitaire du cotonnier au Togo. In *Actes de la Réunion de coordination phytosanitaire (cultures annuelles) de l'Afrique de l'Ouest*, 20-24 février 1995, Cirad-Ier-Coraf, Bamako, Mali (335 pp) : 209-224.
- Sorensen H., 1983. Size and persistence of the microbial biomass formed during the humification of glucose, cellulose, and straw in soils containing different amounts of clay. *Plant et Soil*, 75 : 121-130.
- Soulas, G., 1993. Evidence for the existence of different physiological groups in the microbial community responsible for 2,4-D mineralization in soil. *Soil Biology and Chemistry*, 25 : 443-449.
- Sparling G. P., 1992. Ratio of microbial biomass carbon to soil organic carbon as a sensitive indicator of changes in soil organic matter. *Australian Journal of Soil Research*, 30 : 195-207.

- Steppler H. A., Nair P. K. R., 1987. Agroforestry : a decade of development. ICRAF, Nairobi, Kenya.
- Stoll G., 2002. Protection naturelle des végétaux en zones tropicales - vers une dynamique de l'information, 2nd Ed., Margraf Verlag, Weikersheim, Allemagne : 386 pp.
- Swift M. J., Heal O. W., Anderson J. M., 1979. Decomposition in terrestrial ecosystems. Studies in ecology, vol 5, Blackwell Scientific, Oxford, UK.
- Thalman A., 1968. Zur Methodik der Bestimmung der Dehydrogenaseaktivität im Boden mittels Triphenyltetrazoliumchlorid (TTC). Landwirtsch Forsch, 21 : 249-259.
- Ton P., 2006. Promouvoir la production plus durable de coton : possibilités au Burkina Faso et au Mali - Rapport final, mars 2006. Initiative conjointe FAO-PNUE "Accroître les bénéfices environnementaux et le volume de production durable de coton en Afrique de l'Ouest : une approche de marché". UNEP/FAO, Ougadougou, Burkina Faso : 72 pp.
- Treher P., Coleman D. C., Rusek J. M., Berthelin J., Bardin R., 1993. Soil biology : a conceptual approach with specific goals. European Journal of Soil Biology, 29 : 1-6.
- Trinsoutrot I., Recous S., Mary B., Nicolardot B., 2000. C and N flux of decomposing *13C* and *15N Brassica napus* L. : effect of residue composition and N content. Soil Biology and Biochemistry, 32 : 1717- 1730.
- Ulrich E., 1994. Le suivi à long terme de la fertilité des sols forestiers dans le cadre du Réseau National de suivi à long terme des Ecosystèmes Forestiers (RENEFOCOR). In AIDEC - Journées d'étude sur l'eau et l'utilisation des sols, 1994/03/14-16, Dijon, France : 8 pp.
- Vaissayre M., 1999. Vers une gestion raisonnée de l'entomofaune du cotonnier - I : Vers la mise en place de pratiques phytosanitaires adaptées à une demande diversifiée. Agriculture et Développement, 22 : 68-76.
- Vallaëys T., Fulthorpe R. R., Wright A. M., Soulas G., 1996. The metabolic pathway of 2,4-dichlorophenoxyacetic acid degradation involves different families of *tfdA* and *tfdB* genes according to PCR-RFLP analysis. FEMS Microbiology Ecology, 20 : 163-172.
- Van de Zande, J.C., Michielsen J.M.G.P., Stalinga H., Wenneker M., Heijne B., 2004. Hedgerow filtration and barrier vegetation. Pesticide Application and drift management, Hawaï.
- Van Den Berg F., Kubiak R., Benjey W.G., Majewski M.S., Yates S.R., Reeves G.L., Smelt J.H., Van der Linden A.M.A., 1999. "Emission of pesticides into the air". Water Air and Soil Pollution, 115 : 195-218.
- Van der Werf H.M.G. & Zimmer C., 1998. An indicator of pesticide environmental impact based on a fuzzy expert system. Chemosphere 36 : 2225-2249.
- Vanlauwe B., Nwoke O.C., Sanginga N., Merckx R., 1996. Impact of residues quality on the C and N mineralization of leaf and root residues of three agro-forestry species. Plant Soil 183: 221-231.
- Verbruggen E.M.J., Posthumus R., Van Wezel AP. Ecotoxicological serious risk concentration for soil, sediment and (ground) water : updated proposals for first series of compounds. National Institute of Health and the Environment, Research for Man and Environment (RIVM), avril 2001, Bilthoven, Netherlands : 263 pp.
- Viaux P., Rameil V., 2004. Impact des pratiques culturales sur les populations d'arthropodes de sols de grandes cultures. Phytoma, 570 : 9-11.
- Vodounnon, S., 1995. Une nouvelle méthode de lutte plus respectueuse de l'environnement et plus économique en culture cotonnière au Bénin : la lutte étagée ciblée. In Actes de la Réunion de coordination phytosanitaire (cultures annuelles) de l'Afrique de l'Ouest, 20-24 février 1995, Cirad-Ier-Coraf, Bamako, Mali (335 pp) : 209-224.

- Vigil M. F., Kissel D. E., 1991. Equations for estimating the amount of nitrogen mineralised from crop residues. *Soil Science Society of America Journal*, 57 : 66-72.
- Waid J. S., 1984. Biological and biochemical analysis of soils. *Plant et Soil*, 76 : 127-137.
- Walter C., Merot P., Laver B., Dutin G., 2003. The effect of hedgerows in soil organic carbon storage on hillslopes. *Soil Use and Management*, 19 (3) : 201-207.
- Wander M.N., Hedrick D.S., Kaufman D., Traina S.J., Stinner B.R., Kehmeyer S.R., White D.C., 1995. The functional significance of the microbial biomass in organic and conventionally managed soils. *Plant and Soil*, 170 : 87-97.
- Wardle D.A., Nicholson K.S., Bonner K.I., Yeates G.W., 1999. Effects of agricultural intensification on soil-associated arthropod population dynamics, community structure, diversity, and temporal variability over a seven-year period. *Soil Biology and Biochemistry*, 31 : 1691-1706.
- Willis G.H., McDowell L.L., Southwick L.M., Smith S., 1985. Toxaphene, methylparathion and fenvalerate disappearance from cotton foliage in the mid south. *Journal of environmental quality*, 14 : 446-450.
- Willis G.H., McDowell L.L., Smith S., Southwick L.M., 1986. Permethrin washoff from cotton plants by simulated rainfall. *Journal of environmental quality*, 15 : 116-120.
- Willis G.H., McDowell L.L., Smith S., Southwick L.M., 1988. Rainfall amount and intensity effects on carbaryl washoff from cotton plants. *Transactions of the ASAE*, 31 : 86-90.
- Willis G.H., 1992. Washoff of ultra-low-volume-oil-applied insecticides from cotton plants as a function of time between application and rainfall. *Journal of environmental quality*, 21 : 373-377.
- Willis G.H., McDowell L.L., Southwick L.M., 1994. Permethrin and sulprofos washoff from cotton plants as a function of time between application and initial rainfall. *Journal of Environmental Quality*, 23 : 96-100.
- Wolters V., 2000. Invertebrate control of soil organic matter stability. *Biology and Fertility of soils*, 31 : 1-19.
- Wu J., Joergensen R. G., Pommerening B., Chaussod R., Brookes P. C., 1990. Measurement of soil microbial biomass C by fumigation-Extraction - An automated procedure. *Soil Biology and Biochemistry*, 22 : 1167-1169.
- Zemrag A., 1996. Lutte intégrée contre l'orobanche (*Orobanche crenata* Forsk.) dans la culture des fèves (*Vicia sativa* L.) au Maroc. In 10^{ème} Colloque International sur la Biologie des Mauvaises Herbes, 1996/09, Dijon : 312-325.

ANNEXE 01

Programme de la mission

Lundi 18/06/07

10H45-12H30 : Trajet Cotonou-Ouagadougou Vol Air Burkina 2J 0310

15H00-16h30 : Rencontre avec Monsieur Carlo Paolini, Consortium ECOPAS

17H00-18H00 : Rencontre avec Monsieur Thierry Bertouille, Délégation de la CE au Burkina Faso

Mardi 19/06/07

10H00-11H30 : (01) Rencontre avec Messieurs Pierluigi Agnelli & Abdoulaye Ouédraogo, Helvetas

13H10-18H30 : Trajet par la route Ouagadougou-Diapaga

Mercredi 20/06/07

08H15-09H30 : (02) Rencontre avec Monsieur Koalo Konate, Coordonnateur National Projet ECOPAS

09H50-11H00 : (03) Rencontre avec Monsieur Tankoano D. Michel, Chef du Service Technique, Direction Provinciale de l'Agriculture, de l'Hydraulique et des Ressources Halieutiques

11H20-12H00 : (04) Rencontre avec Monsieur Zoma Amadou, Chef du Service Développement et Formation de la SOCOMA

14H00-16H00 : Documentation au bureau ECOPAS de Diapaga

16H00-17H00 : Rencontre avec Monsieur Yacouba OUOBA, Président de l'URPCE.

17H30-18H00 : Retrait de documentation sur les statistiques de production à la DAHRH

18H30-21H30 : (05) Rencontre avec Monsieur Traore Daouda, Responsable de la périphérie du Parc pour le Burkina Faso

Jeudi 21/06/07

06H10-07H30 : (06) Rencontre avec Monsieur Tamou Nanti Boukougénin, Encadreur dans la périphérie du Parc pour le Bénin

09H00-09H20 : (07) Rencontre avec Monsieur Salambéré Boukari, Préposé des Eaux et Forêts, au Service Départemental de l'Environnement et du Cadre de Vie à Diapaga

09H50-10H00 : (08) Rencontre avec le Dr Idrissa Kaboré, Médecin Chef de District au Centre Médical de Diapaga

10H00-12H45 : Trajet par la route Diapaga-Fada

17H45-17H15 : (09) Rencontre avec Monsieur Sanon Dong, Technicien du Génie Sanitaire, Direction Régionale de la Santé pour l'Est du Burkina Faso.

Vendredi 22/06/07

08H10-08H40 : (10) Rencontre avec Monsieur Adama Sienou, Intérimaire du Chef du Centre INERA de Fada

08H45-09H10 : (11) Rencontre avec Monsieur Sani Inoussa, Chef de Section Suivi et Évaluation, DAHRH pour la Région de l'Est

09H20-11H05 : (12) Rencontre avec Messieurs Ali Compaore, Directeur de la Production Cotonnière à la SOCOMA.

11H15-12H30 : (13) Rencontre avec Monsieur Guébré Georges, Ingénieur chargé du Programme Coton Bio à l'UNPCB de Diapaga

13H00-15H30 : Trajet par la route Fada-Ouagadougou

17H00-++++ : Rencontres diverses avec (14) Monsieur Philippe Cecchi, UR 167 de l'IRD, (15) Monsieur Toni Doro Thomas, Ingénieur des Eaux et Forêts, MECV, Contact téléphonique avec le Dr Traore Seydou Nafoni, Entomologiste INERA, Chef de la Division de Production.

Samedi 23/06/07

17H15-21H00 : Trajet Ouagadougou-Cotonou Vol Air Burkina 2J 0316

ANNEXE 02

PROGRAMME PARC W - ECOPAS

Mission de recherche pour le montage d'un dispositif expérimental destiné à valider les itinéraires techniques non péjorant susceptible de constituer la base d'une zone tampon à vocation de "production biologique" aux périphéries du Parc W

RES	2006	05#
-----	------	-----

Termes de référence

Contexte et justification

La conservation et la valorisation durables des ressources de la biodiversité au bénéfice des populations locales constituent un objectif majeur du Programme Parc W/ECOPAS. A ce titre et compte tenu du statut de Réserve de Biosphère transfrontière MAB UNESCO obtenu par le Parc Régional W en 2002, le devenir des périphéries a constitué une préoccupation majeure de l'activité menée depuis 2001. Notamment, de nombreuses études diligentées entre 2001 et 2005, portant sur le peuplement de ces périphéries et sur l'analyse des pratiques agricoles prévalentes ont attiré l'attention du Programme sur les risques encourus par l'aire protégée du fait du développement d'un front pionnier en périphérie immédiate des composantes Bénin et Burkina Faso. Parallèlement à ce constat, des études portant sur l'analyse des résidus de pesticides contenus dans les tissus d'animaux prélevés dans le Parc et en périphérie (Bénin et Burkina), ont mis en lumière des niveaux élevés de molécules polluants qui témoignent bien, si besoin était, de l'impact des activités humaines menées en amont de chacun des bassins versants de la Tapoa, de la Mékrou et de l'Alibori. Dans ce cadre et du fait de l'accroissement prévisible des surfaces emblavées en coton dans les prochaines années, du fait de la construction d'une usine d'égrainage à Diapaga et de la politique menée par la SOCOMA, filiale du groupe DAGRIS, concessionnaire de l'est burkinabè, il a semblé urgent de dresser un bilan analytique de la situation prenant en compte les aspects liés à la progression du front pionnier, l'utilisation des intrants et la possibilité de promouvoir des activités agricoles alternatives, moins agressives vis-à-vis du milieu naturel, CSCV, LEP, coton biologique, etc.

L'étude confiée au CIRAD en 2005 a dressé un constat complexe où il apparaît que les niveaux de pollution enregistrés sont souvent le fait d'activités agricoles non cotonnières (l'encadrement de la filière est particulièrement efficace au niveau de la fourniture et de l'utilisation des intrants), et en particulier maraîchères, mal contrôlées (trafic de produits phytosanitaires), ou ayant une origine historique ancienne étrangère aux activités agricoles actuelles. Les conclusions de cette étude sont les suivantes :

(Résumé de la "Mission d'appui pour l'évaluation des contraintes environnementales exercées par le front agricole pionnier sur l'aire protégée et la Périphérie du Parc W")

Rendre compatibles l'existence d'aires protégées et le développement d'activités humaines à leur périphérie constitue le défi majeur dont dépend la pérennité des actions de conservation développées au niveau du Parc du W. L'importance des activités humaines de la périphérie du Parc du W est liée au phénomène d'installation accélérée d'agriculteurs qui se traduit par

des défriches et l'extension des surfaces cultivées à un rythme qu'on peut estimer à 5 000 ha par an dans la Province de la Tapoa. La seule régulation de ce phénomène reste la saturation des terroirs cultivés qu'on peut déjà constater dans certains départements. L'extension de la culture cotonnière découle en partie de ces installations et de l'augmentation de l'adhésion des agriculteurs à cette spéculation qui leur procure un revenu à la fois assuré et conséquent et leur permet l'accès à l'équipement, au crédit et aux intrants agricoles. Les récentes baisses de prix d'achat du coton graine peuvent limiter l'augmentation de l'adhésion des agriculteurs à cette culture, mais probablement sans inverser cette tendance. L'extension de la culture cotonnière interagit avec le phénomène de migration en rendant les régions où la filière est organisée plus attractives. La bonne rémunération que procure cette culture limite les opportunités d'alternatives économiquement équivalentes. Ces changements favorisent également le développement de l'élevage résident dont le cheptel dépasse celui de l'élevage transhumant et accroît la pression sur les pâturages en diminution du fait de l'extension du domaine agricole. Les pollutions aux résidus de pesticides (organochlorés) constatées dans l'environnement du Parc (eaux de surface, sols, sédiments, viandes de brousse, chair de poisson, ...) proviennent d'utilisations antérieures de ces produits qui remontent à plus de 25 ans et qui ont été à l'époque largement utilisés dans le domaine agricole comme dans celui des luttes anti-vectorielles et antiacridiennes. Des pollutions aux résidus de pesticides dues à des usages agricoles récents, bien que moins étudiés sont probables (le seul mentionné, car le seul recherché dans toutes les études, et actuellement utilisé est l'endosulfan). L'extension de la culture cotonnière, l'accroissement du recours aux herbicides, l'existence de filières non encadrées et non organisées consommatrices de pesticides, la circulation de produits phytosanitaires douteux ou contrefaits, le manque de précaution dans l'usage de ces produits sont autant de facteurs susceptibles d'augmenter les pollutions et d'augmenter les risques sur la santé humaine. Les systèmes de culture pratiqués se traduisent par une dégradation de la fertilité des sols (le coton est pratiquement la seule culture ayant un approvisionnement en engrais organisé, donc celle qui doit aujourd'hui entraîner une baisse en éléments minéraux la plus réduite ; reste à savoir si les engrais sont considérés « polluants » aux doses utilisées sur coton) qui à moyen terme va accroître la pression sur les terres vierges des aires protégées. Cette dégradation provient en partie de la minéralisation de la matière organique qui accompagne toute défriche et qui est également à l'origine avec l'utilisation des engrais de pollutions des eaux de surface par les nitrates.

Résumés des propositions

Le contexte décrit précédemment conduit à faire les propositions qui sont de trois ordres des compléments d'études permettant d'approfondir le diagnostic établi par la mission :

- un complément du diagnostic au Bénin et surtout au Niger, la mission n'ayant pu établir ce premier diagnostic qu'au Burkina Faso avec quelques références essentiellement au Bénin ;
- une étude sur les dynamiques d'installation des agriculteurs et sur les systèmes de cultures pratiqués dans les zones de front pionnier recentrée par rapport à la mobilisation de la main d'œuvre ;
- la mise en place d'un observatoire des pesticides et des pollutions avec pour préoccupations le recentrage des déterminations des pollutions provenant des usages de pesticides actuels (molécules actuellement vulgarisées, herbicides, fongicides) et la constitution d'un fond documentaire comprenant des enquêtes sur les utilisations de pesticides dans les filières non organisées et la circulation des produits phytosanitaires

Des propositions d'actions à mettre en place dans le cadre d'un projet intégré qui

concernerait deux zones distinctes :

- une zone tampon autour du Parc d'exclusion de l'usage des pesticides et de concentration de cultures biologiques et de diversification ;*
- une zone de transition où des alternatives techniques prenant en compte la préservation de l'environnement (contaminations et ressources sols) seraient diffusées.*

La mise en place de ces solutions, la plupart déjà réalisées dans d'autres pays dans des conditions analogues ou même dans la zone, mais souvent à petite échelle posent plus des problèmes de méthode et principes de diffusion que de résolutions de problèmes techniques.

Des recherches d'accompagnement du projet concernant :

- l'apiculture;*
- une recherche sur les aptitudes des systèmes SCV dans la limitation des contaminations des sols et des eaux par les pesticides et des nitrates;*
- des recherches phytosanitaires axées sur :*
 - les alternatives à l'endosulfan en culture cotonnière*
 - l'amélioration de la protection sanitaire des cultures maraîchères*
 - l'amélioration des techniques d'épandage pour diminuer les contaminations par dérives atmosphériques (on peut difficilement envisager une modification des pratiques de traitement du coton dans les conditions actuelles)*
 - l'impact environnemental comparé de la LEC et de la technique de protection traditionnelle*

Conformément aux propositions formulées par l'étude et en particulier afin de constituer les fondements d'une zone tampon à vocation de productions biologiques, il est envisagé dans un premier temps de constituer un réseau de sites pilotes expérimentaux où seraient testées et évaluées les méthodes alternatives proposées dans l'étude : coton biologique, CSCV, LEC, etc.

Ces spots expérimentaux à identifier avec le concours des administrations concernées et des organisations partenaires de la filière coton, Socoma, Carder (les Cerpa), Helvetas, AIC , etc, gagneront à bénéficier des acquis réalisés dans d'autres régions d'Afrique, Afrique australe en particulier, en impliquant le réseau ACT, dont l'activité couvre des zones écologiques comparables et comporte un volet Afrique de l'ouest actif dans la zone.

A ce stade et en prévision d'un projet de recherche développement de plus grande envergure couvrant l'essentiel des points soulevés dans l'analyse du rapport CIRAD, la mission envisagée ici se concentrerait sur la création de ce réseau de sites pilotes et explorerait avec les partenaires potentiels locaux et internationaux les voies et moyens permettant de démarrer une action pilote à l'échelle expérimentale et à fins essentiellement pédagogiques.

Il est envisagé de confier ce travail à un expert agronome, Frédéric Baudron, spécialiste des agricultures de conservation et possédant une expérience élargie sur ces techniques, en collaboration pour la partie Burkina avec le Pr. Patrice Toé, spécialiste de la question des fronts pionniers et qui a déjà par le passé mené des études sur la périphérie du W et son front cotonnier, et pour la partie Bénin, avec Patrick Prudent, co-auteur de l'étude de 2005.

Objectifs de la mission

Dans le prolongement des la première mission réalisée en 2005, il s'agira donc de :

- affiner le diagnostic de la situation actuelle identifiant les éléments socio-économiques du contexte pour la mise en œuvre du dispositif expérimental ayant comme objectif la constitution d'une zone tampon à vocation de "production biologique" (donc éviter d'envisager le coton);
- définir les modalités d'un dispositif expérimental destiné à valider les itinéraires techniques non péjorant susceptible de constituer la base d'une zone tampon à vocation de "production biologique";
- établir les bases d'un partenariat regroupant les opérateurs de la filière et le réseau ACT (Réseau Africain Agricultures de Conservation);
- élaborer une programmation des actions de recherche destinée à évaluer la faisabilité et durabilité écologique et économique des techniques à promouvoir ;
- adapter au dispositif expérimental un système simple d'indicateurs et de suivi permettant de disposer d'éléments d'évaluation.

Produits attendus de la mission

Ils consisteront en :

- un état des lieux affiné permettant la mise en œuvre du dispositif expérimental ayant comme objectif la constitution d'une zone tampon à vocation de "production biologique";
- une proposition opérationnelle portant sur les modalités du dispositif expérimental destiné à valider les itinéraires techniques non péjorants susceptibles de constituer la base d'une zone tampon à vocation de "production biologique" et par extension, à la zone de transition ;
- les propositions de partenariat regroupant les opérateurs de la filière et le réseau ACT (Réseau Africain Agricultures de Conservation);
- une programmation des actions de recherche destinée à évaluer la faisabilité et durabilité écologique et économique des techniques à promouvoir ;
- un système simple d'indicateurs et de suivi permettant de disposer d'éléments d'évaluation du dispositif expérimental.

Profil des consultants

M. Frédéric BAUDRON est ingénieur agronome, niveau supérieur, ayant l'expérience en promotion de l'agriculture de conservation et dans la mitigation des pertes de biodiversité, et particulièrement des pertes d'habitat de la faune en zones périphériques d'aire protégées.

M. Patrice TOE, chercheur à l'université de Bobo Dioulasso, spécialiste des fronts pionnières et de la problématique "coton"

M. Patrich PRUDENT, chercheur au CIRAD, spécialiste de traitement et des luttes anti-ravageuses des cultures et du coton en particulier.

Durée de la mission

La mission sera exécutée entre le 15 novembre 2006 et le 28 février 2007, pour une durée de vingt-deux jours de terrain :

Rôle	Profession	Expert	Durée Parc W jours	Durée Europe jours	Total jours
Chef de mission	Ingénieur agronome	Frédéric BAUDRON	21	0	21
	Chercheur IDR	Patrice TOE	7	0	7
	Chercheur CIRAD	Patrich PRUDENT	7	0	7
				Total	35

Rapport

La mission produira un rapport provisoire à remettre dans un délai de 30 jours suivants la fin de la mission et un rapport définitif après avoir intégré les remarques du Programme Régional Parc W (ECOPAS) et des Administrations concernées.

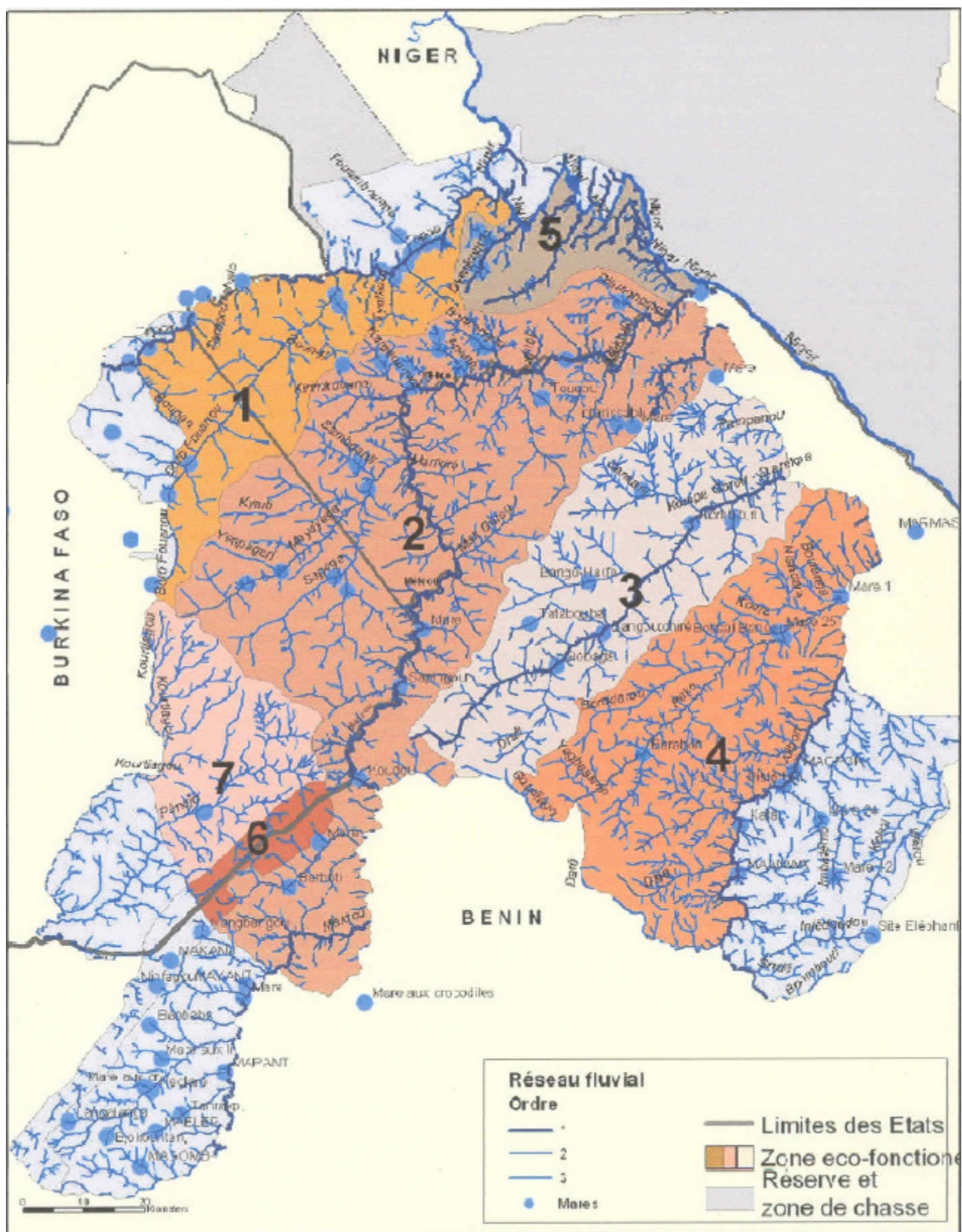
Le rapport doit comporter :

- un sommaire ou une table des matières
- une liste des abréviations utilisées
- un résumé faisant ressortir la problématique de l'étude, ainsi que les résultats obtenus et les recommandations formulées
- les TdR de la mission en annexe

Ces rapports seront remis en trois (3) exemplaires sur papier et CD-Rom

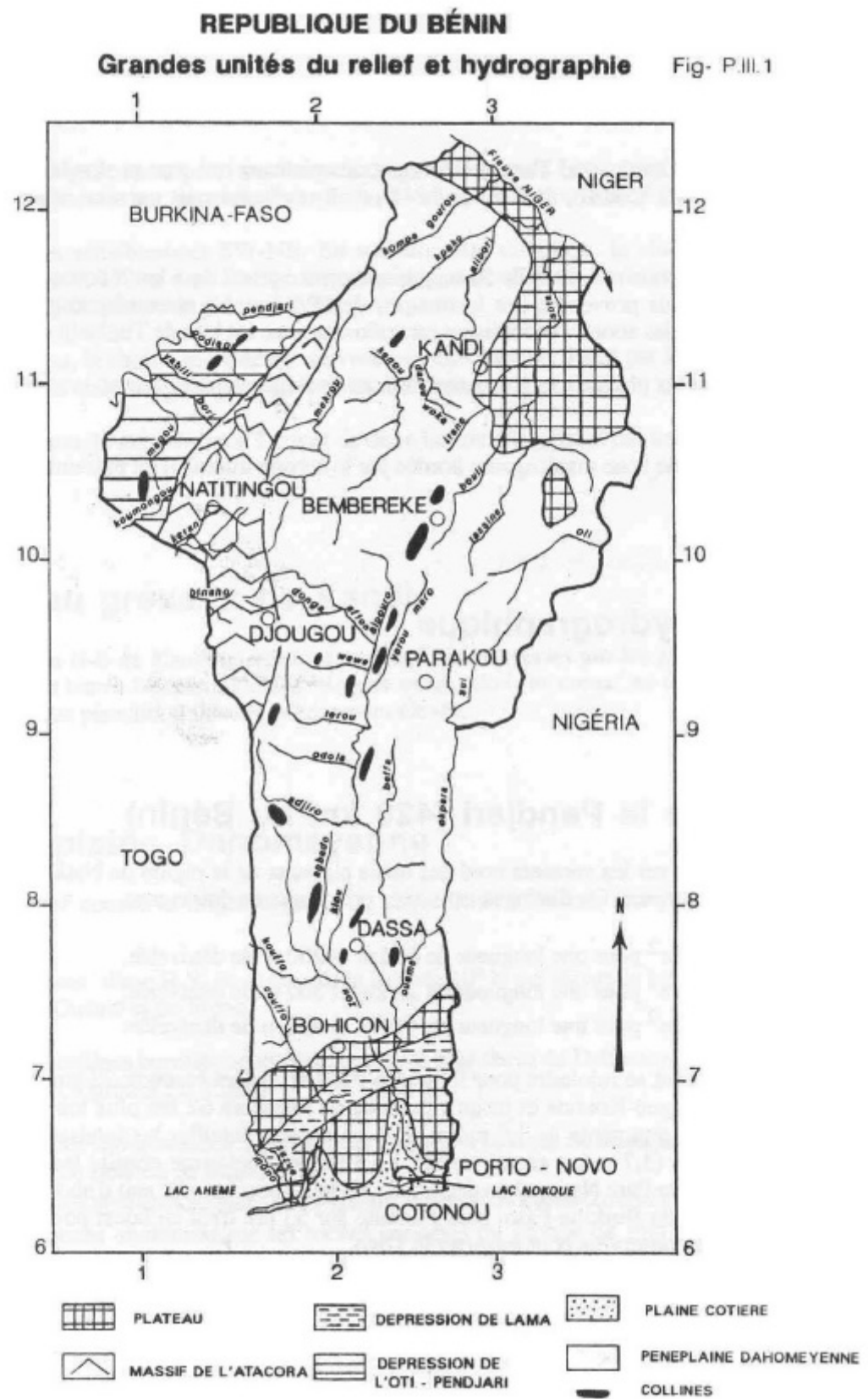
Alioune Sylla ALADJI-BONI
Chevalier de l'Ordre National du Bénin

ANNEXE 03
Zonage du Parc Régional W - Réseau hydrographique (ECOPAS, 2005)



ANNEXE 04

Grandes unités du relief et hydrographie du Bénin (Le Barbé, 1993)



ANNEXE 05

Liste des matières actives recherchées dans les retenues d'eau par l'IRD (étude 2005, Cecchi Ph., communication personnelle)

Liste alphabétique des matières actives		
2,4-D	Diazinon	IPU-2CH3
Aclonifen	Dichlorpop	Isoproturon
Alachlor	Diclofopmethyl	Malathion
Aldrine	Dieldrine	MCPA
Ametryne	Diflufenicanil	Mecoprop
Atrazine	Dinoterb	Metazchlore
Bentazone	endosulfan alpha	methoxychlore
Bromoxynil	endosulfan beta	Metolachlore
Carbendazime	Endrine	Metoxuron
Carbofuran	Epoxyconazole	Metribuzine
Carbosulfan	Ethofumesate	Metsulfuron methyl
Chlorothalonil	Fenamiphos	Oxadiargyl
Chlorpyrifos	Fenitrothion	Parathion - éthyl
Chlortoluron	Florasulame	Parathion - méthyl
Clodinafop propargyl	Fluroxypyr	Pendimethaline
Cyhalothrine Lambda	Fluzilazole	Prochloraze
Cyanazine	HCH alpha	Prometryne
Cypermétryne	HCH beta	Propanil
Cyproconazole	HCH delta	Propazine
DDD (2,4-)	HCH epsilon	Tebuconazole
DDD (4,4'-)	HCH gamma(lindane)	Tebutame
DDE (2,4'-)	heptachlore	Terbuthylazine
DDE (4,4'-)	heptachlore époxide (cis)	Terbutryne
DDT (2,4'-)	heptachlore époxide (trans)	Triazamate
DDT (4,4'-)	Hexachlorobenzene	Trichlopyr
DEA	Hexazinon	Trifluraline
Deltametryne	Imazmethabenz	Simazine
Desmetryne	Ioxynil	Sulcotrione
DIA	IPU-CH3	

ANNEXE 06

EIQ des diverses matières actives citées dans ce rapport

2,4-D	22,67	(1)	(diméthylamine)
acéphate	23,4	(1)	
acétamipride	26,88	(2)	CASRN# 135410-20-7
alphacyperméthrine	27,3	(1)	(comme la cyper de même façon que pour betacyfluthrine)
atrazine	22,9	(1)	
bifenthrine	87,8	(1)	
carbendazim	56,17	(1)	
carbofuran	50,67	(1)	
carbosulfan	27,0	(2)	55285-14-8
carboxine	20,00	(1)	
chlorothalonil	40,1	(1)	
chlorpyrifos-éthyl	43,52	(2)	
cyperméthrine	27,3	(1)	
deltaméthrine	25,7	(1)	
diafenthiuron	20,33	(1)	
diazinon	43,4	(1)	
diclofop-méthyl	29,0	(1)	
dicofol	29,9	(1)	
diméthoate	74,0	(1)	
diuron	20,5	(1)	
endosulfan	42,1	(1)	
ethofumesate	30,0	(1)	
fenamiphos	71,33	(1)	
fenpropathrine	25,3	(1)	
fipronil	90,92	(1)	
fonofos	44,6	(1)	
furathiocarbe	35,33	(1)	
glyphosate	15,30	(1)	
hydroxide de cuivre	33,3	(1)	
lambdacyhalothrine	43,5	(1)	
lindane	69,2	(1)	
lufenuron	22,18	(2)	
malathion	23,83	(1)	
mancozèbe	14,6	(1)	
manèbe	21,4	(1)	
metalaxyl	29,40	(1)	
methamidophos	36,8	(1)	
paraquat	31,0	(1)	
pendimethaline	29,7	(1)	
perméthrine	88,7	(1)	
profenofos	59,53	(2)	411198-08-7
spinosad	17,7	(1)	

thiametoxame	33,3	(1)
thiodicarbe	23,3	(1)
thiophanate-méthyl	22,42	(1)
thiram	32,5	(1)
triazophos	41,48	(2)
trichlorfon	14,8	(1)
aldrine	non	
cadusafos	non	
DDT	non	
diflufenicanil	non	
endrine	non	
HCH	non (isomères autres que le lindane)	
heptachlore	non	
monocrotophos	non	
pyrimiphos-méthyl	non	
teflubenzuron	non	

N.B. : sources (1) = Kovach et al., 2007 ; (2) = communications personnel, Debra Marvin, Cornell University [03/05/2006 & 09/07/2007].

ANNEXE 07
Insecticides rencontrés dans les périmètres maraîchers
et rizicoles de Mogtébo et Lumbila (Some, 2007)

Nom Commercial	Matière(s) Active(s)	Destination	Constaté	
			Mogtédo	Lumbila
Insecticide				
Furadan 3 G	carbofuran	polyvalent / traiter sol	---	oui
Capt 88 EC	cyperméthrine acétamipride	coton	oui	---
Rocky 386 EC	cyperméthrine endosulfan	coton	oui	oui
Cypercal P 356 EC	cyperméthrine profenofos	coton	---	oui
Decis 12 EC	deltaméthrine	cultures maraîchères	non	non
Polo SC	diafenthiuron	coton	---	oui
Basudine 600 EC	diazinon	cultures maraîchères	non	---
Callidim 200 EC	diméthoate	?? (coton ??)	oui	---
Caïman 500 EC	endosulfan	coton	---	oui
Endocoton 500 EC	endosulfan	coton	oui	oui
Lambda 25 EC	lambdacyhalothrine	cultures maraîchères	oui	---
Lambda Super 2,5 EC	lambdacyhalothrine	cultures maraîchères	---	oui
Wreko 2,5 EC	lambdacyhalothrine	cultures maraîchères	oui	---
Blast 46 EC (***)	lambdacyhalothrine acétamipride	coton	oui	---
Lampride 46 EC	lambdacyhalothrine acétamipride	coton	oui	oui
Calthio DS	lindane thiram	semences diverses	oui	---
Calfos 500 EC	profenofos	coton	oui	---
Curacron 500 EC	profenofos	coton	oui	---
Fanga 500 EC	profenofos	coton	oui	---
Herbicide				
Herbextra	2,4-D sel d'amine	maïs, riz	oui	---
Roundup	glyphosate	usages multiples	oui	---
Gramoxone Super	paraquat	herbicide total	oui	---
Alligator 400 EC	pendimethaline	???	oui	---
Constaté : oui = présence observée sur le terrain ; non = présence non observée ; --- = ni présence observée sur le terrain, ni disponible, ni cité ; *** composition en MA non indiquée dans le document d'origine mais probable				

ANNEXE 08

Insecticides utilisés dans les périmètres maraîchers en périphérie du réservoir de Toukoumtouré (Hyrkäs & Pernholm, 2007)

Produit Commercial (PC)	Matière(s) Active(s) (MA) nom et g./l. ou Kg		Recommandations		P = Fabricant D = Distributer
			culture	g. MA	
Insecticide et nématicide pour traitement du sol					
Furadan 3 G (granulé)	carbofuran	30,0	???	7500	P: FMC Corporation USA D : Chemico Ltd Ghana
Insecticide pour traitement foliaire					
Neem (A. indica)	azadirachtine	???	???	???	fabrication locale / paysans
Capt 88 EC (1)	cyperméthrine	72,0	coton	72	P :ALM International France
	acétamipride	26,0		16	D : Sofitex campagne 2006-2007
Cypercal ??? (2)	cyperméthrine	36,0	coton	36	P : SPIA Sénégal
	monocrotophos	250,0		250	D : MDC Bamako Mali
Rocky 386 EC (3)	cyperméthrine	36,0	coton	36	P : Saphito BF pour Calliope
	endosulfan	350,0		350	D : ???
Decis 12 EC	deltaméthrine	12,5	maraîchage	10 -20	P : Bayer Crop Science D : ?
Lambda Super 2,5 EC	lambdacyhalothrine	25,0	maraîchage	10-20	P : Shenzen Baocheng Chine D : Kumark trading Ltd (Pays ?)
Lampride 46 EC (4)	lambdacyhalothrine	30,0	coton	30	P : Senchim Sénégal
	acétamipride	16,0		16	D : Sofitex campagne 2005-2006
Insecticide et fongicide pour traitement de semences					
Caïman rouge (5)	endosulfan	250,0	coton	22,5	P : CCAB BF
	thiram	250,0		22,5	D : Sofitex campagne 2006-2007
N.B. : (1) le Capt 88 EC est recommandé à la dose 1/2 l / ha sur coton, les doses de MA/ha devraient donc être la moitié de celles indiquées (36+8 au lieu de 72+16), le dosage est peut-être celui appliqué en maraîchage ; (2) les produits nommés Cypercal.... étaient normalement fabriqués par la Société Calliope ou pour elle par Saphito ; (3) Calliope est actuellement devenu Arysta Lifescience ; (4) comme pour le Capt 88 EC, le Lampride 46 EC est recommandé à la dose de 1/2 l / ha, les doses de MA/ha devraient donc être la moitié de celles indiquées (15+6 au lieu de 30+16), là encore le dosage en maraîchage est-il différent ; (5) la dose figurant dans le document original était 90 g de PC / 30 Kg de semence, pour uniformiser la présentation, celle-ci a été converti en g de MA/ha sur la base de l'emploi de 30 Kg de semences /ha. ; la recommandation est en grammes de MA par hectare					

ANNEXE 09
Résidus d'insecticides décelés dans le périmètre maraîcher de Houéyiho
(Sanny, 2002)

Substrat	Concentrations en organochlorés (en µg/l pour les légumes et l'eau et µg/g pour le sol)							
	lindane	aldrine	DDTs	endosulfan	dieldrine	endrine	heptachlore	HCH
Grande Morelle	0,019	0,056	0,123	0,092	0,042	0,008	0,032	Nd
Chou	0,027	Nd	0,178	0,206	0,172	0,107	0,079	0,062
Carotte	0,049	0,134	0,108	0,260	0,197	0,074	0,044	0,031
Laitue	0,027	0,024	0,057	0,125	0,125	0,015	0,007	Nd
Normes	<u>0,500</u>	<u>0,100</u>	<u>0,100</u>	<u>2,000</u>	<u>0,100</u>	<u>0,020</u>	<u>0,050</u>	??
Sol	0,499	1,496	1,024	2,258	1,274	0,936	0,430	1,400
Eau	0,160	0,330	1,130	0,830	0,091	0,044	Nd	0,116

N.B. : Nd = non détectable ; les valeurs maximales acceptables du Codex Alimentarius sont soulignées ; les valeurs dépassant la norme Codex dans le cas des légumes sont indiquées en caractères gras.

ANNEXE 10

Produits phytosanitaires utilisés en cultures de *Solanum macrocarpum* dans le sud Bénin (Assogba-Komlan et al., 2007)

(PC) Produit Commercial	Matière(s) Active(s) MA nom et g/ l ou Kg		Dose par hectare et par traitement						Nombre de traitement par cycle de production			Doses de MA par hectare et par cycle de production			Cycles / an	g de MA /ha et / an moyenne
			PC g ou ml			MA g										
			moy	min	max	moy	min	max	moy	min	max	moy	min	max		
Zone Cordon littoral																
Topsin-M 70 PM	Thiophanate-méthyl	700	2.186,0	416,0	4.956,0	1.530,2	291,2	3.469,2	3,5	3,0	4,0	5.355,7	873,6	13.876,8	3,0	16.067,1
Orthène 75 SP (?)	acéphate	750	1.025,0	500,0	2.000,0	768,8	375,0	1.500,0	4,0	3,0	5,0	3.075,0	1.125,0	7.500,0		9.225,0
Banko plus	carbendazime chlorothalonil	100 550	1.855,0	1.250,0	2.460,0	185,5 1.020,3	125,0 687,5	246,0 1.353,0	3,5	2,0	5,0	649,3 3.570,9	250,0 1.375,0	1.230,0 6.765,0		1.947,8 10.712,6
Zones de Décru																
Cotalm D 315 EC	lambdacyhalothrine diméthoate	15 300	1.300,0	50,0	3.000,0	19,5 390,0	0,8 15,0	45,0 900,0	5,5	3,0	8,0	107,3 2.145,0	2,3 45,0	360,0 7.200,0	1,0	107,3 2.145,0
Dursban 4 EC	chlorpyrifos-éthyl	480	1.200,0	60,0	3.000,0	576,0	28,8	1.440,0	5,0	3,0	8,0	2.880,0	86,4	11.520,0		2.880,0
Orthène	acéphate	750	1.000,0	50,0	2.000,0	750,0	37,5	1.500,0	4,0	3,0	5,0	3.000,0	112,5	7.500,0		3.000,0
Zones intraurbaines et périurbaines																
Manèbe 80 WP	manèbe	800	2.041,9	208,0	8.680,0	1.633,5	166,4	6.944,0	3,0	2,0	4,0	4.900,6	332,8	27.776,0	3,0	14.701,7
Décis 12,5 (?)	deltaméthrine	12,5	4.900,0	125,0	20.800,0	61,3	1,6	260,0	3,0	1,0	5,0	183,8	1,6	1.300,0		551,3
N.B. : moy = moyenne ; min = minimum ; max = maximum ; (?) les caractéristiques exactes ont pu être obtenues (communications personnelles soit des auteurs, soit du service de protection des végétaux ; soit une seule formulation porte le nom abrégé mentionné dans cette publication) que pour le Topsin-M, le Banko Plus, le Dursban 4 EC, le Cotalm D 315 EC et le Manèbe 80 WP ; ce n'est pas le cas pour l'Orthène et le Décis pour lesquels on été retenues les formulations Orthène 75 SP (vendue par le passé au Bénin et signalée dans plusieurs pays) et Décis 12,5 EC pour les mêmes raisons ; Dose de MA par ha et par cycle : la moyenne est le résultat du produit de la dose moyenne de MA par hectare et par traitement par le nombre moyen de traitements par cycle, le calcul du minimum et du maximum respecte le même principe (min = min x min ; max = max x max) ; pour les g de MA épandus par hectare et par an (= g MA /ha et par cycle x nombre de cycles par an) seule les valeurs moyennes sont considérées.																

ANNEXE 11
Résidus d'insecticides décelés en cultures de *Solanum macrocarpum*
(morelle) dans le sud du Bénin (Assogba-Komlan et al., 2007)

Moyenne des sites	Concentrations en organochlorés (en µg/Kg pour les feuilles de morelle et µg/g pour le sol)						
	lindane	aldrine	DDTs	endosulfan	dieldrine	endrine	heptachlore
Morelle	0,110	0,115	0,224	0,356	0,301	0,112	0,070
Normes Codex	<u>0,500</u>	<u>0,100</u>	<u>0,100</u>	<u>2,000</u>	<u>0,100</u>	<u>0,020</u>	<u>0,050</u>
Sol	2,457	0,496	4,800	7,975	2,150	3,568	0,725
N.B : morelle = valeur moyenne de dix (10) échantillons de feuilles de <i>S. macrocarpum</i> ; sol = valeur obtenue avec un échantillon composite obtenu en mélangeant trois échantillons prélevés au hasard sur un site maraîcher de la vallée de l'Ouémé.							

ANNEXE 12 **Principaux pesticides chimiques utilisés en maraîchage au Togo** (adapté de PAN Togo, 2005)

PC = Produit Commercial	MA Matière Active		DL 50 par ingestion / rat et classement		Fréquence	
	nom	g/ l ou Kg			nb	%
Cypercal ???	<i>cyperméthrine</i> ??? + ??? ???		251	Xn	83	38,2
Némacur	<i>fénamiphos ou phénamiphos</i> ??? + ??? ???		15,3	T+	67	30,9
	fenpropathrine	???			39	18,0
Décis ULV 4	deltaméthrine	???	66,7	T	24	11,1
Furadan 3 G	carbofuran	30	8-14	T+	24	11,1
Kocide 101	hydroxide du cuivre			Xn	21	9,7
Cydim Super	teflubenzuron	???	> 5000	exempté	20	9,2
Conquest	<i>cyperméthrine</i> ???		251	Xn	19	8,8
	<i>acétamipride</i> ???					
	+ ??? ???					
Malyphos 50	malathion	500	480-1150	Xn	15	6,9
	DDT	???			14	6,5
Callidim 40	diméthoate	400	320-380	Xn	14	10,6
					9	
Rugby 10 G	cadusafos	100	37	T+	12	5,5
Dithane M 45	mancozèbe	800	> 8000	Xi	9	4,1
Deltafos	deltaméthrine	???			8	6,0
Deltaphose	triazophos	???	82	T+	5	
Régent	fipronil		97	T	8	3,7
Dipterex 80 WP	trichlorfon				7	3,2
Nurelle 50	cyperméthrine	50	251	Xn	6	2,8
Ridomil Plus	<i>métalaxyl</i>	120	669	Xn	6	2,8
	<i>hydroxide de cuivre</i>	600		Xn		
Dursban 4 EC	chlorpyrifos-éthyl	480	163	T	5	2,3
Karate	lambdacyhalothrine	???	56-79	T+	5	2,3
Marcozeb ?	mancozèbe ?	???	> 8000	Xi	5	2,3

N.B. : les noms en caractères standards sont ceux mentionnés dans le document d'origine, ceux en caractères en italiques sont des informations complémentaires sur la nature des produits (matières actives précisées et/ou concentration exacte) ; les ??? indiquent un manque d'information, en particulier pour le Cypercal, le Conquest et le Némacur dont plusieurs formulations existant pouvant contenir 1 à 3 matières actives différentes ; les informations sur la toxicité proviennent de l'index ACTA 1998 à l'exception du triazophos (CNEARC/CIRAD, 1990) ; pour la fréquence d'utilisation sont indiqués le nombre de producteurs ayant déclaré utiliser le produit et le pourcentage correspondant sur les 217 interrogés. ; cette fréquence est cumulée pour les deux produits cités deux fois dans la liste (Deltafos/Deltaphos et Callidim).

ANNEXE 13
Traces d'insecticides organochlorés dans les aliments vivriers au Togo
(PAN Togo, 2005)

Espèce	n. e. a.	Concentration en organochlorés exprimées en PPM (mg/kg)													
		alpha-HCH		lindane		heptachlore		aldrine		dieldrine		endrine		DDTs	
		conc	LMR	conc	LMR	conc	LMR	conc	LMR	conc	LMR	conc	LMR	conc	LMR
		nd		nd		nd		nd		nd		nd		nd	
Niébé	3	0,054	0,054	0,710	0,001	0,421	0,262	0,155	0,003	0,060	0,060	-	-	-	-
		2		1		1		0		2		3		3	
Maïs	3	-	-	0,002	0,002	0,492	0,339	0,038	0,011	0,063	0,063	-	-	-	-
		3		2		1		1		2		3		3	
Petit Mil	3	0,015	0,015	0,015	0,015	-	-	0,021	0,010	0,010	0,010	0,007	0,007	0,002	0,002
		2		2		3		1		2		2		2	
Sorgho	2	0,034	0,017	0,034	0,034	0,049	0,049	0,034	0,032	-	-	-	-	-	-
		0		1		1		0		2		2		2	
N.B. : n.e.a. = nombre d'échantillons analysés ; conc = concentration moyenne en résidus mesurée dans les échantillons ; LMR = limite maximale de résidus pour les normes AFNOR ; nd = nombre d'échantillons pour lequel le composé analysé n'a pas été détecté ; ces mesures sont effectuées sur des graines séchées destinées à l'alimentation.															

ANNEXE 14
Produits phytosanitaires utilisés en cultures maraîchères
en Afrique de l'Ouest (extrait de Rosendahl et al., 2008)

Matière Active MA	Produit Commercial PC	Légumes	Pays					
			Be	Gh	M	N1	N2	To
acéphate	Orthène	hv, oi	x					x
<i>Bacillus popilliae</i>	Doom, Biobit	am, me					x	
bifenthrine	Talstar	am, ch, co, la, sm	x					
cadosufos	Rugby 10	la						x
carbofuran	Furadan	sm	x	x	x	x		
		ca	x					
		am						x
		ok			x			
chlorpyrifos-éthyl	Pyrinex, Dursban	co, oi, ok, to		x				
cyperméthrine	Cyperméthrin	la				x		x
cyperméthrine + diméthoate ?	cytoate ?	pi, po				x		
DDT	DDT	au, ch, cou, hv, pi, to						x
		oi, ok		x				
deltaméthrine	Décis, K-Othrine	am, ca, ch, sm	x					
		ch		x				
		be, ce, ch, co, la, me, pi, po			x			
		ch, oi, pi, po				x		
		ch					x	
		cou, po						x
diazinon	Diazol	ch		x				
diméthoate	Dimethoate	oi, pi, po	x					
		co		x				
		pi, po				x		
		ca						x
endosulfan	Cotofan, Thionex, Endosulfan	oi, pi, po, to						
endrin	Endrin	ch, co, ok, to			x			
fenamiphos	Némacur	co						x
fenpropathrine	Fenpropathrine	to	x					
		ok			x			
		hv, pi, po						x
fipronil	Regent (Profonos ?)	pi, po			x			
		au						x

N.B. : légumes : am = amarante, au = aubergine, be = betterave, ca = carotte, ce = céleri, ch = chou, co = concombre, cou = courgette, hv = haricot vert, la = laitue, me = menthe, oi = oignon, ok = okra, pi = piment, po = poivron, sm = *Solanum macrocarpum*, to = tomate ; pays : Be = Bénin, Gh = Ghana, Ma = Mali, N1 = Niger, N2 = Nigeria, To = Togo. ; plus voir commentaires en bas de la seconde partie du tableau.

ANNEXE 14 (suite)
Produits phytosanitaires utilisés en cultures maraîchères
en Afrique de l'Ouest (extrait de Rosendahl et al., 2008)

Matière Active MA	Produit Commercial PC	Légumes	Pays					
			Be	Gh	M	N1	N2	To
glyphosate ?	Rambo ?	oi, pi, po	x					
HCH (gamma)	Lindane	co			x		x	
hydroxide de cuivre	Ridonyl Plus ?	la						x
lambdacyhalothrine	Karate	to		x		x	x	
		am					x	
mancozèbe	Dithane (Cyperfos, Termicol ???)	to			x			
		co						x
		???		x			x	
Manèbe + oxyde Zn	Trimangol	???		x				
		la, sm	x					
methamidophos ?	Cypercal ?	sm	x	x	x	x	x	
		pi, po	x	x				
		am					x	x
		be						x
profenofos ?	Cotolm P ?	to				x		
pyrimiphos-méthyl	Actellic	to	x					
teflubenzuron	Cydim Super	au	x					
		au, co, hv, pi, po		x				
		au						x
thiophanate-méthyl	Topsin-M	au, pi, po, sm	x					
		au		x				
		au			x			
		au, co						x

N.B. : légumes : am = amaranthe, au = aubergine, be = betterave, ca = carotte, ce = céleri, ch = chou, co = concombre, cou = courgette, hv = haricot vert, la = laitue, me = menthe, oi = oignon, ok = okra, pi = piment, po = poivron, sm = *Solanum macrocarpum*, to = tomate ; pays : Be = Bénin, Gh = Ghana, Ma = Mali, N1 = Niger, N2 = Nigeria, To = Togo.

Commentaires : certains couples (MA /PC) semblent douteux, ils sont signalés par un ? en italique :

- C Cytoate : signalé comme cyperméthrine seule, mais il existe une formulation commercialisée au Bénin appelée Cytoate 335 EC = cyperméthrine 35 g/l + diméthoate 300 g/l
- C Profonos : signalé comme fipronil, les seules formulations identifiées comportent toutes le nom de Régent, profonos évoque plutôt du profenofos
- C Rambo : signalé comme glyphosate, les seules formulation identifiées utilisant le nom de Rambo contiennent de la perméthrine
- C Cypercal : toutes les formulations connues dans la région contiennent de la cyperméthrine seule ou associée à une autre matière active (Cypercal P = + profenofos, D = + diméthoate,...), mais pas de métamidophos
- C Cyperfos : signale comme mancozèbe, la société Calliope (Arysta Life Science) produisant un produit appelé cyperfos mais contenant une association cyperméthrine + chlorpyrifos
- C Cotolm P : toutes les associations utilisant le nom de cotalm au Bénin sont à base de lambdacyhalothrine, pouvant être associé à une lette P = + profenofos, D = + diméthoate
- C Ridonyl + : le produit identifié dans la région est le Ridomil Plus = hydroxyde de cuivre + métalaxyl
- C malathion : cette MA figure dans le tableau d'origine sans référence à aucune culture ni pays.

ANNEXE 15

Nombre de traitements réalisés en cultures maraîchères durant un cycle de production au Bénin (Rosendahl et al., 2008)

Paramètres	Légumes								
	AM	CA	CH	CO	LA	OI	PI	SM	TO
Durée d'un cycle de production (semaines)	3	10	12	8	4	16	10	4	10
Matières actives (MA) appliquées	Nombre de traitements / cycle et / MA								
Carbofuran	0	2	0	0	0	0	0	3	0
Maneb	0	0	0	0	2	0	0	2	0
Bifenthrine	1	0	12	1	2	0	0	2	0
Deltaméthrine	1	1	7	0	0	0	0	5	0
Endosulfan	0	0	0	0	0	3	2	0	2
Glyphosate	0	0	0	0	0	3	10	0	0
Tiophanate-méthyl + métamidophos + profenofos	0	0	0	0	0	0	6	0	4
Fenpropathrine	0	0	0	0	0	0	0	0	8
Nombre total d'applications	2	3	19	1	4	6	18	12	14
Nombre moyen par semaine	0,67	0,30	1,58	0,13	1,00	0,38	1,80	3,00	1,40
N.B. : AM = amaranthe, CA = carotte, CH = chou, LA = laitue, OI = oignon, PI = piment, SM = Solanum macrocarpum, TO = tomate.									

ANNEXE 16

DT₅₀ de quelques pesticides dans les acrisols et arénosols du Bénin et sur feuilles de *Solanum macrocarpum*.

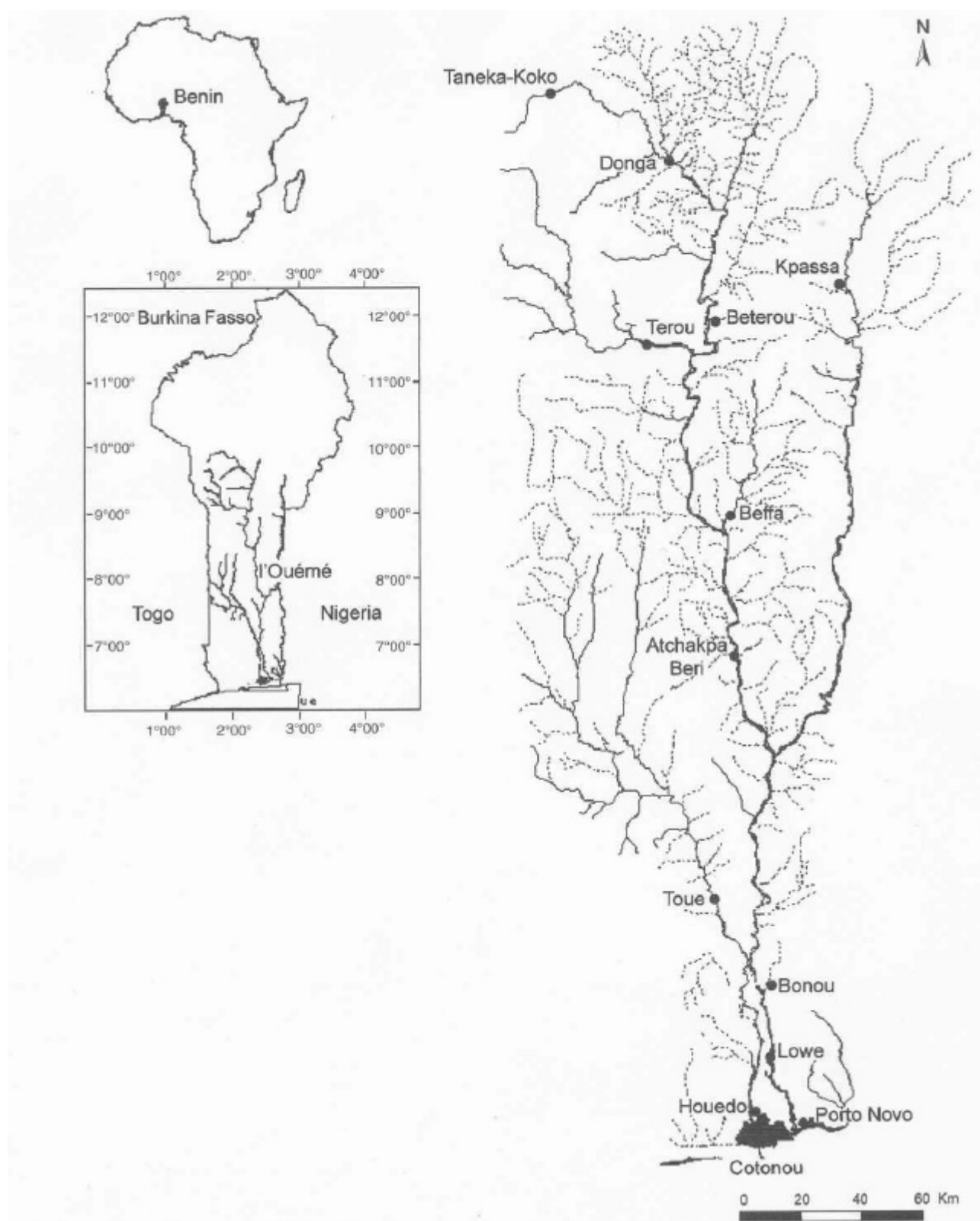
(Rosendahl et al., 2008)

Matières Actives (MA) étudiées	Substrat	DT ₅₀ des MA testées (j = jours ; h = heures) après chaque application (AP)		
		AP1	AP2	AP3
bifenthrine	AC	36,1 j	na	na
	AR	41,0 j	na	na
	FSM	na	na	na
deltaméthrine	AC	6,1 j	5,8 j	8,9 j
	AR	10,2 j §	7,3	14,5
	FSM	86,6 h §	na	na
diazinon	AC	5,5 j	na	na
	AR	2,8 j	na	na
	FSM	na	na	na
alpha-endosulfan (1)	AC	4,8 j	6,6 j	na
	AR	7,0 j	13,1 j	na
	FSM	16,6 h	na	na
beta-endosulfan (2)	AC	10,5 j §	22,0 j	na
	AR	nm	64,2 j	na
	FSM	6,7 h	na	na
(1) + (2)	AC	6,5 j	9,2 j	na
	AR	nm	27,0 j	na
	FSM	23,0 h	na	na
endosulfan total = (1) + (2) + endosulfan-sulfate	AC	8,5 j	17,0 j	na
	AR	nm	73,7 j §	na
	FSM	2,7 h	na	na

N.B. : AC = dans acrisol , AR = dans arénosol, FSM = sur feuilles de *Solanum macrocarpum* ; AP1 = après la 1ère application, AP2 = 2ème application, AP3 = 3ème application, numérotation propre à chaque MA, celles-ci pouvant avoir été appliquées 1, 2 ou 3 fois ; na = MA non appliquée à cette occasion, nm = non modélisé car aucune équation testée ne donne un ajustement correct de la courbe, § = au delà de la période couverte par l'expérimentation

ANNEXE 17

Carte de sites des études portant sur la contamination de la rivière Ouémé (Pazo et al., 2006 a & b)



ANNEXE 18 **Concentration en organochlorés dans les sédiments de la rivière Ouémé** (Pazo et al., 2006b)

Si	Lo	Concentration en organochlorés (µg/Kg de matière organique)													
		pp'-DDE	op'-DDD	pp'-DDD	op'-DDT	pp'-DDT	SDDT	a-Endo	β-Endo	G-Endo	a-HCH	g-HCH	GHCH	Gdrin	HCBD
Ta	1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
	2	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	9,5	9,5	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
Do	1	55,0	13,0	38,0	4,2	24,0	134,0	5,1	11,0	16,0	2,3	5,0	7,3	< 0,1	< 0,1
	2	70,0	16,0	48,0	7,5	147,0	189,0	5,9	13,0	19,0	2,3	4,4	6,7	< 0,1	< 0,1
Bé	1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	15,0	15,0	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
	2	109,0	89,0	314,0	51,0	246,0	809,0	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
	3	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	36,0	< 0,1	36,0	< 0,1	< 0,1
	4	42,0	< 0,1	37,0	< 0,1	< 0,1	79,0	27,0	26,0	53,0	61,0	< 0,1	61,0	< 0,1	< 0,1
Kp	1	2,4	1,0	1,5	0,5	2,6	8,0	0,7	0,9	1,6	0,7	6,7	7,4	0,6	< 0,1
	2	9,0	1,6	3,5	< 0,1	< 0,1	14,0	< 0,1	< 0,1	< 0,1	1,0	4,8	5,8	< 0,1	< 0,1
	3	131,0	7,1	18,0	3,6	7,0	167,0	< 0,1	< 0,1	< 0,1	1,1	5,6	6,7	< 0,1	< 0,1
	4	26,0	19,0	42,0	5,4	< 0,1	93,0	< 0,1	5,4	5,4	< 0,1	< 0,1	< 0,1	9,2	< 0,1
Ab	1	18,0	< 0,1	7,4	< 0,1	41,0	67,0	1,4	< 0,1	1,4	2,1	9,5	12,0	< 0,1	0,5
	2	10,0	< 0,1	2,6	0,9	4,2	18,0	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	20,0	20,0	5,0	1,3
	3	3,8	1,4	< 0,1	< 0,1	3,3	8,7	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	9,9
	4	0,8	< 0,1	0,6	1,1	0,9	3,5	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	3,2
	5	3,6	< 0,1	3,4	2,6	< 0,1	9,6	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	1,8	4,7
	6	8,2	5,5	5,3	12,0	< 0,1	31,0	164,0	< 0,1	164,0	< 0,1	3,8	3,8	< 0,1	5,0
To	1	25,0	3,1	21,0	< 0,1	36,0	85,0	3,6	9,0	13,0	< 0,1	3,8	3,8	12,0	0,6
	2	22,0	3,1	13,0	9,1	9,1	56,0	< 0,1	2,6	2,6	< 0,1	< 0,1	< 0,1	7,8	< 0,1
	3	4,4	< 0,1	2,4	9,8	9,8	26,0	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	4,4	4,4	< 0,1	6,1
	4	32,0	9,5	28,0	13,0	41,0	114,0	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	3,4	3,4	2,8	9,3
	5	19,0	3,4	10,0	2,2	4,1	39,0	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	5,1	< 0,1
Bo	1	26,0	3,9	12,0	< 0,1	19,0	61,0	2,0	2,4	4,4	< 0,1	3,0	3,0	< 0,1	2,3
	2	16,0	4,3	17,0	1,3	9,2	48,0	< 0,1	3,0	3,0	< 0,1	5,2	5,2	< 0,1	< 0,1
	3	16,0	7,1	19,0	3,4	10,0	56,0	3,3	4,6	7,9	< 0,1	3,1	3,1	< 0,1	< 0,1
	4	12,0	5,8	17,0	6,8	79,0	121,0	< 0,1	7,6	7,6	< 0,1	6,1	6,1	15,0	< 0,1
	5	13,0	5,3	15,0	< 0,1	17,0	50,0	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	42,0	42,0	32,0	< 0,1
Lo	1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	39,0	< 0,1
	2	68,0	46,0	196,0	< 0,1	196,0	506,0	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	30,0	< 0,1
	3	51,0	27,0	88,0	< 0,1	20	186	< 0,1	7,8	7,8	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
	4	27,0	12,0	43,0	3,9	19,0	105,0	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	7,5	7,5	< 0,1	< 0,1
Ho	1	6,8	2,4	11,0	< 0,1	1,1	21,0	< 0,1	< 0,1	< 0,1	1,7	3,3	5,0	8,2	0,2
	2	6,7	2,5	8,8	< 0,1	1,8	20,0	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	4,6	4,6	5,0	0,2
	3	6,6	3,6	21,0	< 0,1	2,3	34,0	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	2,5	2,5	3,0	< 0,1
	4	14,0	4,4	17,0	< 0,1	526,0	561,0	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	16,0	16,0	0,8	< 0,1
	5	5,4	3,6	14,0	< 0,1	1,1	24,0	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
TLos		32	26	31	18	29	34	9	12	14	9	21	23	16	12
%Los		86,5	70,3	83,8	48,6	78,4	91,9	24,3	32,4	37,8	24,3	56,8	62,2	43,2	32,4
MLos		26,9	11,6	34,7	7,7	51,8	110,8	23,7	7,8	21,9	12,0	7,8	11,9	11,1	3,6

N.B. : Si = site de prélèvement : Ta = Tanéka-Koko, Do = Donga, Bé = Bétérou, Kp = Kpassa, Ab = Atchakpa-Béri, To = Toué, Bo = Bonou, Lo = Lowé, Ho = Houédo ; Lo = numéro du lot échantillonné par site (2 à 6) ; matières actives : pp'-DDE, op'-DDD, pp'-DDD, op'-DDT, pp'-DDT = isomères ou produits de dégradation du DDT, GDDT = somme des précédents, a-End = alpha-endosulfan, β-End = beta-endosulfan, Gend = somme des 2 précédents, a-HCH = alpha-HCH, g-HCH = gamma-HCH (lindane), GHCH = somme des 2 précédents, Gdrin = aldrine + isodrine + telodrine + endrine + dieldrine, HCBD = hexachlorobutadiène ; TLos = total des lots avec un résultat significatif (différent de < 0,01), %Los = % d'échantillons avec la présence significative des produits, MLos = concentration moyenne dans les lots avec un résultat significatif.

ANNEXE 19 **Concentration en organochlorés dans les poissons de la rivière Ouémé** (Pazo et al., 2006a)

Si	Espèces	N	Concentration en organochlorés (ng / g de lipide)									
			pp'-DDE	op'-DDD	pp'-DDD	op'-DDT	pp'-DDT	GDDT	a-Endo	β-Endo	Gendo	Diel
Kp	Oreochromis niloticus	2	41,0	14,0	24,0	11,0	39,0	129,0	16,0	nd	16,0	0,0
	Sarotherodon galileus	1	40,0	25,0	22,0	8,8	6,6	102,4	24,0	nd	24,0	10,0
Bé	Clarias gariepinus	1	66,0	6,3	77,0	11,0	375,0	535,3	0,0	23,0	23,0	nd
Ab	Tilapia guineensis	1	63,0	4,1	25,0	9,0	51,0	152,1	4,1	4,1	8,2	9,0
	Clarias gariepinus	1	421,0	nd	157,0	20,0	786,0	1.384,0	nd	41,0	41,0	nd
	Chrysichthys nigrodigitatus	1	96,0	nd	27,0	nd	73,0	196,0	nd	nd	nd	nd
To	Tilapia zilli	8	44,0	nd	24,0	74,0	59,0	201,0	nd	5,3	5,3	nd
	Polypterus e. endlicheri	1	65,0	nd	60,0	13,0	335,0	473,0	nd	nd	nd	nd
	Clarias ebriensis	5	78,0	nd	29,0	5,7	59,0	171,7	nd	nd	nd	nd
Bo	Clarias gariepinus	2	221,0	nd	57,0	nd	1.364,0	1.642,0	nd	32,0	32,0	nd
Lo	Protopterus annectens	1	64,0	nd	61,0	nd	5,7	130,7	26,0	35,0	61,0	750,0
	Clarias gariepinus	6	105,0	21,0	64,0	9,5	691,0	890,5	nd	26,0	26,0	nd
	Clarias ebriensis	5	107,0	6,9	41,0	11,0	76,0	241,9	6,9	8,6	15,5	6,9
	Synodontis schall	4	88,0	9,7	66,0	5,3	132,0	301,0	39,0	19,0	58,0	1,5
	Synodontis nigrita	6	115,0	19,0	85,0	12,0	240,0	471,0	57,0	28,0	85,0	6,6
	Schilbe intermedius	1	396,0	37,0	283,0	23,0	452,0	1.191,0	158,0	57,0	215,0	8,5
	Chrysichthys auratus	3	297,0	nd	122,0	8,6	811,0	1.238,6	70,0	51,0	121,0	nd
	Hyperopisus bebe	3	242,0	27,0	169,0	22,0	354,0	814,0	50,0	35,0	85,0	nd
Ho	Clarias gariepinus	1	72,0	6,3	91,0	11,0	609,0	789,3	21,0	33,0	54,0	nd

N.B. : Si = site de prélèvement : Kp = Kpassa, Bé =Bétérrou, Ab = Atchakpa-Béri, To = Toué, Bo = Bonou, Lo = Lowé, Ho = Houédo ; N = nombre de poissons échantillonné par site (1 à 8) ; matières actives : pp'-DDE, op'-DDD, pp'-DDD, op'-DDT, pp'-DDT = isomères ou produits de dégradation du DDT, GDDT = somme des précédents, a-End = alpha-endosulfan, β-End = beta-endosulfan, Gend = somme des 2 précédents, Diel = dieldrine ; nd = non détectable.

ANNEXE 20

Plaque d'identification des chenilles carpophages utilisée pour la LOIC

1. *Helicoverpa armigera*



2. *Earias* spp.



3. *Diparopsis watersi*

ANNEXE 21

Lutte sur Observation Individuelle des Chenilles de la capsule (LOIC)

A- C'est quoi la lutte sur observation individuelle des chenilles de la capsule ?

- C'est une nouvelle méthode pour lutter contre les chenilles qui mangent les boutons, les fleurs et les capsules du cotonnier.

B- Comment ça marche ?

- Ca se fait par des observations individuelles dans chaque quart d'hectare :
 - Tu pars voir ton quart **un jour par semaine**, par exemple, le mercredi.
- Le jour d'observation, tu vas dans ton quart avec la planchette de comptage. Tu mets l'épingle sur le point jaune. Tu choisis un **premier plant** dans ton champ, **pas au bord**.
 - Il faut observer tous **les boutons, les fleurs et les capsules** du cotonnier d'en bas jusqu'en haut.
 - Il faut commencer par **le pied de la plante**, et ensuite tu **remontes branche après branche**.
 - Tu ne dois observer qu'**un seul plant par poquet**.
- Tu dois regarder **trois sortes de chenilles** :

- La chenille avec la **bande blanche (Helicoverpa)**
- La chenille avec des **taches rouges (Diparopsis)**
- La chenille avec les **épines (Earias)**

Tu peux t'aider avec la fiche d'identification des chenilles

Ici, deux cas peuvent arriver :

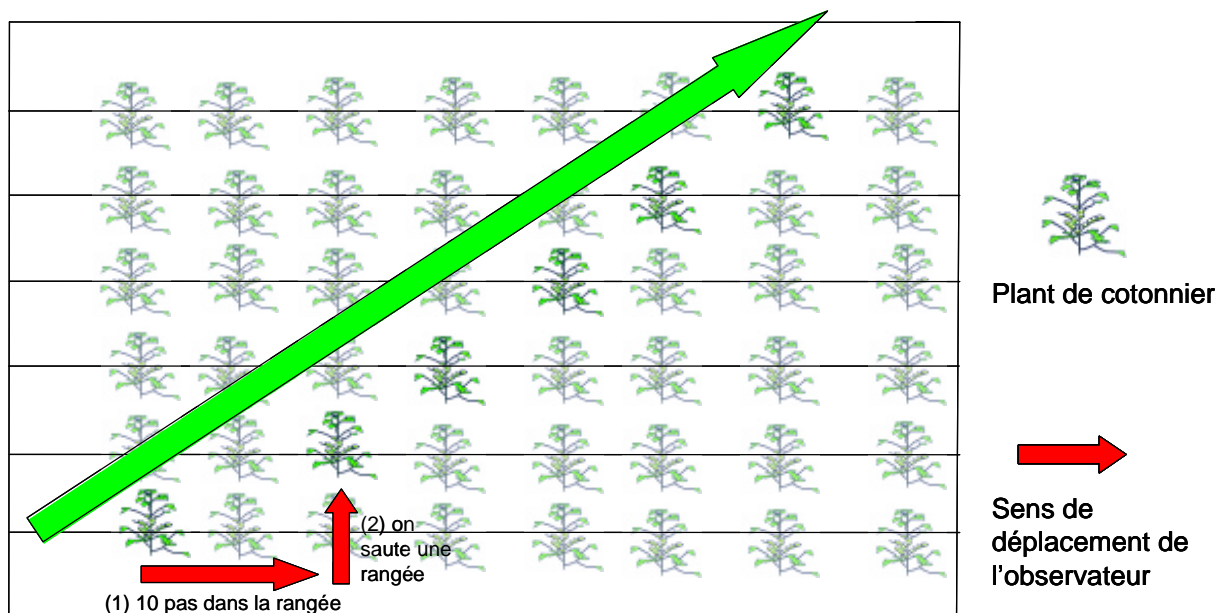
Tu ne trouves pas de chenilles :

- Ainsi, tu vas directement au **deuxième cotonnier**

Tu trouves une chenille :

- Ainsi, tu **déplaces l'épingle d'un trou vers le haut** (dans le sens de la largeur) ; si tu en trouves 2, tu déplaces de 2 trous vers le haut. Si tu en trouves 3, tu déplaces de 3 trous vers le haut...
- Après, tu vas au **deuxième cotonnier**

- **Pour aller au deuxième cotonnier**, premièrement tu t'avances d'une dizaine de pas en suivant la même rangée que celle du plant que tu as observé ; deuxièmement tu sautes à la rangée suivante (ou à la deuxième ou la troisième suivante) pour observer un autre plant.



- Quand tu arrives au **deuxième cotonnier** : tu déplaces l'épingle vers la droite dans le sens de la longueur, tu regardes ton plant de cotonnier (comme le premier).

Ici aussi, deux cas peuvent arriver :

Tu ne trouves pas de chenille

- Ainsi, tu vas directement au **troisième cotonnier**

Tu trouves une chenille

- Ainsi, tu **déplaces l'épingle d'un trou vers le haut** (dans le sens de la largeur) ; si tu en trouves 2, tu déplaces de 2 trous vers le haut. Si tu en trouves 3, tu déplaces de 3 trous vers le haut...
- Après, tu vas au **troisième cotonnier**

- **Pour aller au troisième cotonnier**, tu te déplaces en diagonale, comme tu l'as fait pour aller au deuxième cotonnier.

Attention : il ne faut pas observer plusieurs plants sur la même rangée.

- Et quand tu arrives au **troisième cotonnier** : tu déplaces l'épingle vers la droite. Tu regardes ton plant de cotonnier. Egalement ici deux cas peuvent se présenter : etc.....

- Dès que l'épingle arrive dans la partie **verte**, tu arrêtes de compter les chenilles sur les cotonniers et **tu ne traites pas**.
- Dès que l'épingle arrive dans la partie **rouge**, tu arrêtes de compter les chenilles sur les cotonniers et **tu traites**.

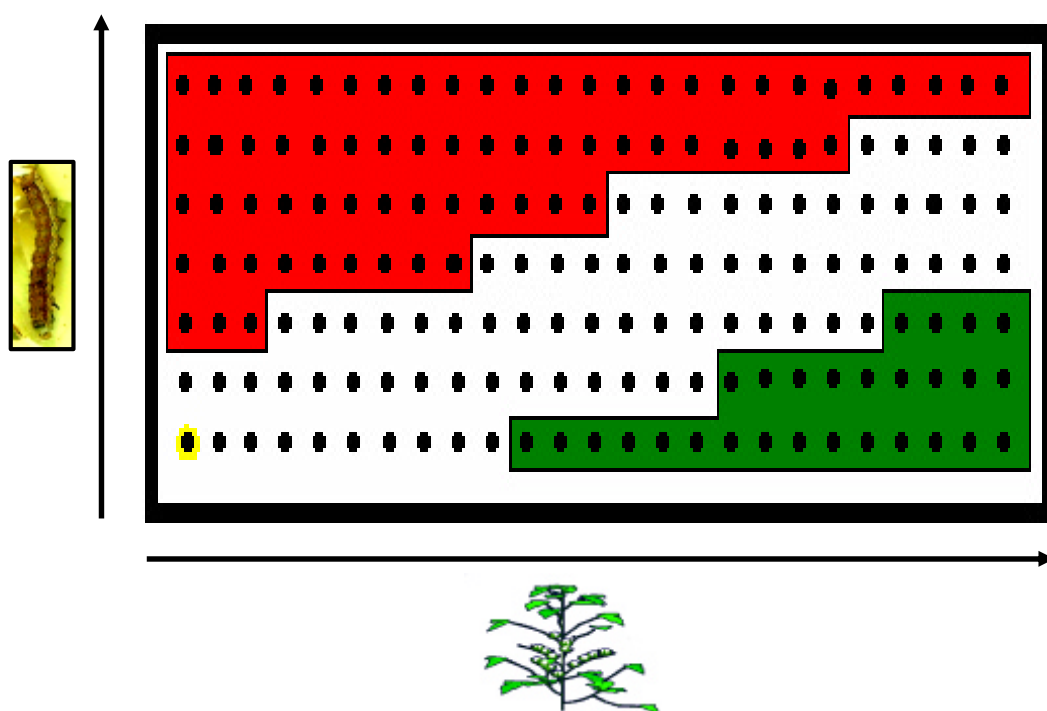
C – Pourquoi on pratique la Lutte sur Observation Individuelle des Chenilles de la capsule (LOIC) ?

- Parce que c'est la méthode qui permet de diminuer la quantité d'insecticide et de diminuer la facture du planteur si il n'y a pas de chenilles, sans diminuer la production. Par contre, s'il y a beaucoup de chenilles, on peut augmenter le nombre de traitements, mais cela augmente aussi la production. Dans les deux cas, la LOIC peut donc permettre au planteur d'augmenter son revenu.
- On compte facilement les chenilles avec cette méthode grâce aux planchettes et ça ne coûte rien.

D – Qui peut pratiquer la LOIC ?

- Pour pratiquer la LOIC, je dois être un producteur motivé et volontaire, car travailler en LOIC n'est pas imposé par la SODECOTON, c'est le libre choix de chaque planteur ;
- Le producteur LOIC s'engage à contrôler la présence des chenilles de la capsule à la veille de chaque traitement durant toute la campagne

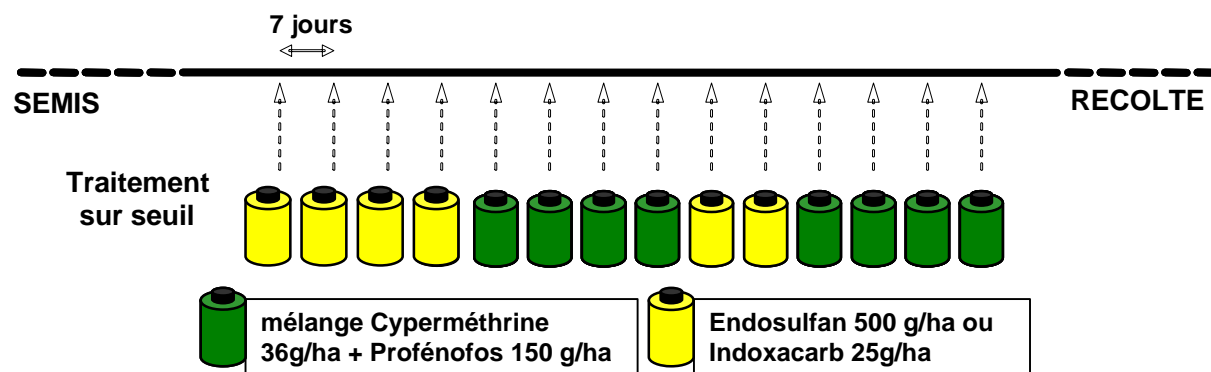
E – Voici comment on utilise la planchette :



- Sur le côté long de la planchette : **1 trou = 1 cotonnier examiné.**
- Sur le côté court : **1 trou = 1 chenille trouvée.**
- Au début du comptage, tu mets l'épingle dans le trou jaune.

Les traitements des planteurs LOIC

Les planteurs LOIC utilisent **les mêmes produits** que les planteurs LPD, **aux mêmes fenêtres** de traitements, **SAUF pour la première fenêtre de traitement**, où le planteur LOIC doit utiliser le produit à **pleine dose** et pas à demi-dose.



La facturation des planteurs LOIC

La facture du planteur LOIC est calculée à partir du **nombre de traitements** qu'il a fait et **des produits** qu'il a utilisé.

$$\text{Coût des traitements d'un planteur} = \left\{ \begin{array}{l} \text{Nombre de traitements avec le produit A} \times \text{Coût moyen d'un traitement avec le produit A} \\ \text{Nombre de traitements avec le produit B} \times \text{Coût moyen d'un traitement avec le produit B} \end{array} \right\} + \text{Nombre de traitements} \times \text{charges fixes}$$

$$\text{coût moyen d'un traitement produit A} = \frac{\text{consommation réelle produit A} \times \text{coût produit A}}{\text{nombre total de traitement produit A}}$$

Le cahier d'observation

Le jour de l'observation, le planteur va voir l'agent de suivi avec sa planchette. L'agent de suivi remplit alors le cahier d'observation avec les informations données par la planchette, et la décision prise par le planteur (je traite / je ne traite pas)

Décade et semaine	Numéro d'ordre	Nom du planteur	Date de l'observation	Nombre de poquets	Nombre de chenilles	décision	Date de traitement	observations

ANNEXE 22

Mécanismes mis en jeu lors des épandages par pulvérisation.
Les flèches indiquent les interactions avec les différents compartiment
(source : Aubertot et al., 2005)

